

# บทที่ 1

## บทนำ

### ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การปฏิรูปการศึกษาตามพระราชบัญญัติการศึกษาแห่งชาติ พ.ศ. 2542 มีผลบังคับใช้เมื่อวันที่ 20 สิงหาคม 2542 มีหลักการจัดการศึกษาไว้ 3 ประการ คือเป็นการศึกษาตลอดชีวิต ให้สังคมมีส่วนร่วมในการจัดการศึกษาและมีการพัฒนาสาระและกระบวนการเรียนรู้ให้เป็นไปอย่างต่อเนื่อง โดยมุ่งหวังให้สถานศึกษามีการบริหารเป็นไปอย่างต่อเนื่อง และการจัดการศึกษาขั้นพื้นฐานอย่างมีประสิทธิภาพ การปฏิรูปการเรียนรู้ เป็นการจัดการศึกษาและยึดหลักว่า ผู้เรียนทุกคนมีความสามารถเรียนรู้และพัฒนาตนเองได้และถือว่าผู้เรียนมีความสำคัญที่สุด และ กระบวนการจัดการศึกษาต้องส่งเสริมให้ผู้เรียนสามารถพัฒนาตามธรรมชาติและเต็มตามศักยภาพ การจัดการกระบวนการเรียนรู้ต้องจัดกิจกรรมการเรียนการสอนให้ผู้เรียนได้เรียนรู้จากประสบการณ์จริง ฝึกการปฏิบัติทำได้ คิดเป็น รักการอ่าน และเกิดการใฝ่รู้อย่างต่อเนื่อง จัดสื่อการเรียนรู้เพื่ออำนวยความสะดวกให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้และมีความรอบรู้

โรงเรียนสกลนครพัฒนศึกษา ได้จัดการเรียนการสอนที่สอดคล้องกับหลักการจัดการศึกษาทั้ง 3 ประการ เน้นผู้เรียนเป็นสำคัญมีการพัฒนากระบวนการบริหารจัดการศึกษา การพัฒนาหลักสูตร การพัฒนากระบวนการเรียนการสอน รวมถึงการพัฒนาครูและบุคลากรทางการศึกษา เพื่อให้โรงเรียนเข้าสู่ระบบการประกันคุณภาพการศึกษา และผ่านการประเมินจากบุคคลภายนอก สร้างความมั่นใจให้กับผู้ปกครองและสังคม นักเรียนจบการศึกษาจากโรงเรียนสกลนครพัฒนศึกษาเป็นบุคคลที่มีคุณภาพ มีมาตรฐานเป็นที่ยอมรับและเกิดความพึงพอใจ เป็นสมาชิกที่ดีของสังคมอยู่ในสังคมได้อย่างมีความสุข

กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์โรงเรียนสกลนครพัฒนศึกษา รับผิดชอบในการจัดการเรียนการสอนในรายวิชาวิทยาศาสตร์ ได้จัดการเรียนการสอนที่เน้นผู้เรียนเป็นสำคัญ หลากหลายวิธีสอนครอบคลุมเนื้อหาตั้งแต่ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 – ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 สาระพื้นฐานและสาระเพิ่มเติม เพื่อให้ผู้เรียนได้รับความรู้ เกิดทักษะมีประสบการณ์ มี

กิจกรรม การเรียนรู้ที่หลากหลาย อันจะก่อให้เกิดทักษะที่สำคัญในการเรียนรู้และการนำความรู้ไปใช้ให้เกิดประโยชน์

จากการรายงานการประเมินคุณภาพภายนอกสถานศึกษาระดับการศึกษาขั้นพื้นฐาน สำนักงานรับรองมาตรฐานและประเมินคุณภาพการศึกษา (องค์การมหาชน) (สมศ) ในรอบแรกเมื่อวันที่ 26 – 28 มกราคม 2547 พบว่า มาตรฐานที่ 5 : ผู้เรียนมีความรู้และทักษะที่จำเป็นตามหลักสูตร มีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนในกลุ่มประสบการณ์/กลุ่มวิชา/หมวดวิชาที่สำคัญสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานขั้นต่ำ ในกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาวิทยาศาสตร์อยู่ที่ร้อยละ 61.82 ระดับคุณภาพ พอใช้ ซึ่ง สมศ วางเกณฑ์ระดับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน 3.0 ขึ้นไปไว้ที่ร้อยละ 75 ขึ้นไป และจากการเรียนการสอนที่ผ่านมาพบว่าเป็นปีการศึกษา 2547 ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาฟิสิกส์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ห้อง 1 และ ห้อง 2 จำนวน 74 คน มีผลการเรียน 3.0 ขึ้นไป เพียง 19 คน คิดเป็นร้อยละ 25.68 ซึ่งต่ำกว่าเกณฑ์ที่ สมศ ตั้งไว้มาก ซึ่งวิชาฟิสิกส์เป็นวิชาหนึ่งที่ทำให้ ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาวิทยาศาสตร์ต่ำ ผู้วิจัยจึงสนใจและตั้งใจที่จะแก้ปัญหาดังกล่าว ประกอบกับนักเรียนที่เข้ามาเรียนในโรงเรียนนี้เป็นนักเรียนที่สอบเข้าเรียนในโรงเรียนประจำจังหวัดไม่ได้ และผู้ปกครองร้อยละ 80 มีอาชีพเกษตรกรและกรรมกรจึงมีฐานะค่อนข้างยากจน แต่ผู้วิจัยก็มุ่งเป้าหมายที่จะยกระดับการเรียนรู้ของนักเรียนทุกคนให้สูงขึ้น โดยมีความเชื่อว่านักเรียนแต่ละคนมีความแตกต่างกัน ไม่สามารถเรียนรู้ได้เท่ากันในเวลาเดียวกัน แต่สามารถเรียนรู้ได้ใกล้เคียงกันถ้าเขามีสื่อหรือนวัตกรรมและเวลาในการเรียนรู้ที่เหมาะสมและเพียงพอ ผู้วิจัยจึงออกแบบสอบถามนักเรียนที่ได้ระดับผลการเรียนต่ำกว่า 2.99 จำนวน 55 คน คิดเป็นร้อยละ 74.32 ถึงสาเหตุและปัญหาพบว่า นักเรียนมีเวลาเรียนน้อยทำให้ไม่เข้าใจในเนื้อหาที่เรียน บางคนต้องช่วยผู้ปกครองทำงานหาเลี้ยงครอบครัว บางคนต้องทำงานส่งตัวเองเรียน นักเรียนไม่ได้รับการซ่อมเสริมที่เพียงพอ ไม่มีหนังสือเรียน หนังสืออ่านเพิ่มเติมมีไม่เพียงพอ

ผู้วิจัยจึงคิดหาแนวทางที่จะแก้ปัญหาดังกล่าว โดยเน้นถึงการสร้างความสนใจในการเรียนรู้ ความถูกต้องของเนื้อหาวิชา การศึกษาค้นคว้าของนักเรียนตามความสามารถและตามศักยภาพอย่างไม่จำกัด และควรเป็นสื่อ/นวัตกรรมที่นักเรียนสามารถนำไปใช้ในการศึกษาเพื่อทบทวนเนื้อหาและซ่อมเสริมได้ ในขณะที่เดียวกันก็สามารถใช้กับนักเรียนที่สอบไม่ผ่านจุดประสงค์การเรียนรู้เรื่องนั้น บทเรียนสำเร็จรูปน่าจะเป็นตัวเลือกที่เหมาะสมสำหรับให้นักเรียนได้ยืมไปศึกษาเพิ่มเติมนอกเวลาเรียนหรือที่บ้านตามเอกภาพและบริบทของตนเองและเป็นการเรียนรู้ได้ตลอดเวลา ซึ่งเป็นวิธีที่เหมาะสมที่จะทำให้ให้นักเรียนสามารถเข้าใจเนื้อหาได้ดีขึ้น เป็เรื่อง กุมุท ได้กล่าวถึงคุณค่าของบทเรียนสำเร็จรูปไว้ว่า บทเรียนสำเร็จรูปจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพทางการเรียนการสอน ช่วยให้ผู้เรียนได้มีพัฒนาการทางการเรียน ช่วยให้ผู้เรียนได้พัฒนาไปถึงขั้นสูงสุด และยังช่วยแก้ปัญหาการขาดแคลนครูผู้สอนด้วย (เป็เรื่อง กุมุท, 2525) การเรียนรู้ใน

บทเรียนสำเร็จรูปนี้ จะแบ่งเนื้อหาออกเป็นส่วนย่อยๆ จากง่ายไปหายาก การเรียนให้ผู้เรียนศึกษาเนื้อหา ได้ตอบคำถามและสามารถทราบผลของคำตอบได้ทันที เมื่อเรียนจบผู้เรียนจะสามารถเกิดความคิด รวบรวมตามจุดประสงค์ การเรียนรู้ที่ตั้งไว้

นอกจากนี้ผู้วิจัยเห็นว่า บทเรียนสำเร็จรูปน่าจะเป็นสื่อการสอนที่เหมาะสมกับบริบทของนักเรียนและสามารถแก้ไขปัญหาการเรียนการสอนตลอดจนส่งเสริมให้มีการพัฒนาการเรียนการสอนได้อย่างมีประสิทธิภาพ ผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะสร้างบทเรียนสำเร็จรูป วิชาฟิสิกส์ เรื่องแบบจำลองอะตอม ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 โดยจัดแยกออกเป็นเรื่องย่อย ๆ จะได้ไม่เกิดการเบื่อหน่ายเพราะใช้เวลาในการศึกษาประมาณ 30 นาที – 60 นาที ก็จบแล้ว (แบบจำลองอะตอมจะประกอบด้วยบทเรียนสำเร็จรูปจำนวน 12 เล่ม คือ เล่ม 1 แบบจำลองอะตอมของดาลตัน เล่ม 2 การค้นพบอิเล็กตรอน เล่ม 3 การทดลองของมิลลิแกน เล่ม 4 แบบจำลองอะตอมของทอมสัน เล่ม 5 แบบจำลองอะตอมของรัทเทอร์ฟอร์ด 6. สเปกตรัมจากอะตอมของแก๊ส เล่ม 7 การแผ่รังสีของวัตถุดำ เล่ม 8 ปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก เล่ม 9 แบบจำลองอะตอมของโบร์ เล่ม 10 รังสีเอกซ์ เล่ม 11 สมมติฐานของเดอบรอยล์ เล่ม 12 หลักความไม่แน่นอนและโครงสร้างอะตอมตามแนวคิดกลศาสตร์ควอนตัม) นำไปใช้ในการส่งเสริมและพัฒนาการเรียนการสอนให้เหมาะสมและสอดคล้องกับสภาพปัจจุบันเกิดประโยชน์สูงสุดกับผู้เรียน ส่งให้ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาฟิสิกส์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ห้อง 1 และ ห้อง 2 จำนวน 68 คน ในปีการศึกษา 2548 สูงขึ้น

### วัตถุประสงค์ของการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ

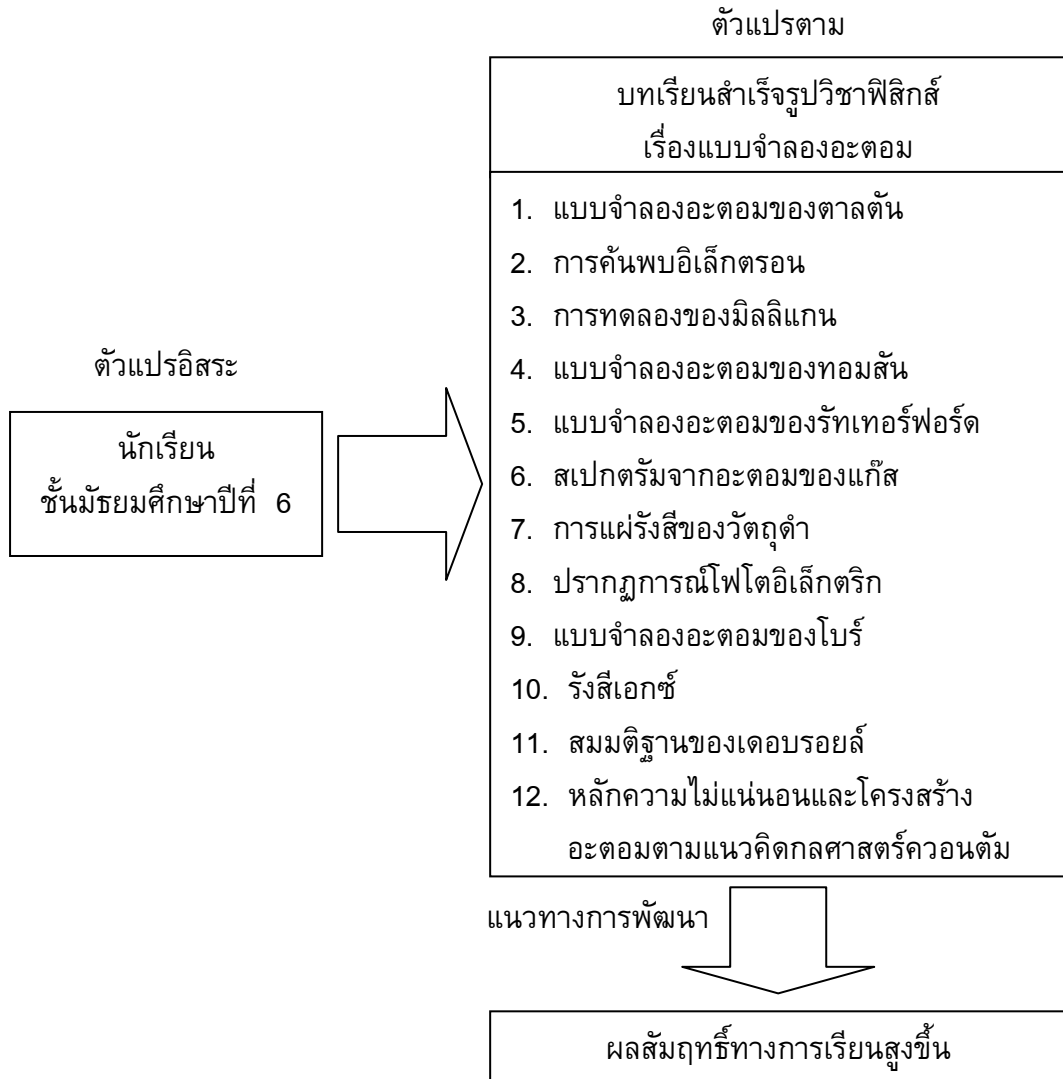
1. ศึกษาประสิทธิภาพบทเรียนสำเร็จรูป วิชาฟิสิกส์ เรื่อง แบบจำลองอะตอมชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6
2. บทเรียนสำเร็จรูป วิชาฟิสิกส์ เรื่อง แบบจำลองอะตอมที่พัฒนาขึ้นสามารถแก้ปัญหาลักษณะสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 6 ได้

## กรอบแนวคิดในการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยมีกรอบแนวคิดในการวิจัยเพื่อทราบถึงประสิทธิภาพบทเรียนสำเร็จรูปวิชาฟิสิกส์ เรื่อง แบบจำลองอะตอม ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 โรงเรียนสกลนครพัฒนศึกษา จำนวน 12 เรื่อง (1 เรื่อง / 1 เล่ม) ดังนี้

1. แบบจำลองอะตอมของดอลตัน
2. การค้นพบอิเล็กตรอน
3. การทดลองของมิลลิแกน
4. แบบจำลองอะตอมของทอมสัน
5. แบบจำลองอะตอมของรัทเทอร์ฟอร์ด
6. สเปกตรัมจากอะตอมของแก๊ส
7. การแผ่รังสีของวัตถุดำ
8. ปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก
9. แบบจำลองอะตอมของโบร์
10. รังสีเอกซ์
11. สมมติฐานของเดอบรอยล์
12. หลักความไม่แน่นอนและโครงสร้างอะตอมตามแนวคิดกลศาสตร์ควอนตัม

กรอบแนวคิดในการวิจัยสรุปได้ ดังภาพประกอบ 1



ภาพประกอบ 1 กรอบแนวคิดในการวิจัย

### สมมติฐานของการวิจัย

1. บทเรียนสำเร็จรูป วิชาฟิสิกส์ เรื่อง แบบจำลองอะตอม ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ที่มีประสิทธิภาพและผ่านเกณฑ์มาตรฐาน 80/80
2. นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 โรงเรียนสกลนครพัฒนศึกษาที่เรียนโดยใช้บทเรียนสำเร็จรูปประกอบ วิชาฟิสิกส์ เรื่องแบบจำลองอะตอม มีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนสูงขึ้น

## ขอบเขตของการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้ มีขอบเขตการวิจัยดังนี้

### 1. ขอบเขตด้านเนื้อหา

มุ่งศึกษาการใช้บทเรียนสำเร็จรูปวิชาฟิสิกส์ เรื่อง แบบจำลองอะตอม  
ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 จำนวน 12 เรื่อง คือ

- 1.1 แบบจำลองอะตอมของดอลตัน
- 1.2 การค้นพบอิเล็กตรอน
- 1.3 การทดลองของมิลลิแกน
- 1.4 แบบจำลองอะตอมของทอมสัน
- 1.5 แบบจำลองอะตอมของรัทเทอร์ฟอร์ด
- 1.6 สเปกตรัมจากอะตอมของแก๊ส
- 1.7 การแผ่รังสีของวัตถุดำ
- 1.8 ปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก
- 1.9 แบบจำลองอะตอมของโบร์
- 1.10 รังสีเอกซ์
- 1.11 สมมติฐานของเดอบรอยล์
- 1.12 หลักความไม่แน่นอนและโครงสร้างอะตอมตามแนวคิดกลศาสตร์

ควอนตัม

### 2. ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

#### 2.1 ประชากร

ประชากร ได้แก่ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ห้อง 1, 2, 3  
และห้อง 4 ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2548 โรงเรียนสกลนครพัฒนศึกษา จำนวน 167 คน

#### 2.2 กลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่าง ได้แก่ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ห้อง 1 และ  
ห้อง 2 ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2548 โรงเรียนสกลนครพัฒนศึกษา จำนวน 68 คน

### 3. ตัวแปรที่ศึกษา

#### 3.1 ตัวแปรอิสระ

ตัวแปรอิสระ ได้แก่ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ห้อง 1 และ ห้อง 2 โรงเรียนสกลนครพัฒนศึกษา ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2548

#### 3.2 ตัวแปรตาม

ตัวแปรตาม ได้แก่ บทเรียนสำเร็จรูปวิชาฟิสิกส์ เรื่อง แบบจำลองอะตอม ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 จำนวน 12 เรื่อง คือ

3.2.1 แบบจำลองอะตอมของดอลตัน

3.2.2 การค้นพบอิเล็กตรอน

3.2.3 การทดลองของมิลลิแกน

3.2.4 แบบจำลองอะตอมของทอมสัน

3.2.5 แบบจำลองอะตอมของรัทเทอร์ฟอร์ด

3.2.6 สเปกตรัมจากอะตอมของแก๊ส

3.2.7 การแผ่รังสีของวัตถุดำ

3.2.8 ปฏิกิริยาการแผ่รังสีโฟโตอิเล็กทริก

3.2.9 แบบจำลองอะตอมของโบร์

3.2.10 รังสีเอกซ์

3.2.11 สมมติฐานของเดอบรอยล์

3.3.12 หลักความไม่แน่นอนและโครงสร้างอะตอมตามแนวคิด

กลศาสตร์ควอนตัม

4. ระยะเวลาดำเนินการวิจัย ระหว่างวันที่ 1 เดือน ตุลาคม พ.ศ. 2548 ถึงวันที่ 20 เดือน กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2549

5. สถานที่ดำเนินการวิจัย โรงเรียนสกลนครพัฒนศึกษา อำเภอเมือง จังหวัดสกลนคร

### นิยามศัพท์เฉพาะ

เพื่อให้ความหมายเป็นที่เข้าใจตรงกัน จึงกำหนดขอบข่ายความหมายที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ คือ

1. บทเรียนสำเร็จรูปวิชาฟิสิกส์ เรื่อง แบบจำลองอะตอม หมายถึง บทเรียนสำเร็จรูปที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นเพื่อให้นักเรียนได้ศึกษาเพิ่มเติมด้วยตนเองตามลำดับจากง่ายไปหา

ยาก โดยแบ่งเนื้อหาออกเป็นส่วนย่อย ๆ เรียกว่า กรอบ แต่ละกรอบจะมีคำอธิบายเนื้อหา คำถามที่เหมาะสม และคำเฉลยอยู่ในกรอบถัดไป เพื่อให้ให้นักเรียนได้ตรวจคำตอบและประเมิน ได้ด้วยตนเอง 12 เรื่อง ประกอบด้วย แบบจำลองอะตอมของดอลตัน การค้นพบอิเล็กตรอน การทดลองของมิลลิแกน แบบจำลองอะตอมของทอมสัน แบบจำลองอะตอมของรัทเทอร์ฟอร์ด สเปกตรัมจากอะตอมของแก๊ส การแผ่รังสีของวัตถุดำ ปฏิกิริยาการแผ่รังสีโพโตอิเล็กทริก แบบจำลองอะตอมของโบร์ รังสีเอกซ์ สมบัติฐานของเดอบรอยล์ และหลักความไม่แน่นอน และโครงสร้างอะตอมตามแนวคิดกลศาสตร์ควอนตัม

2. นักเรียน หมายถึง นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 โรงเรียน สกลนครพัฒนศึกษา อำเภอเมือง จังหวัดสกลนคร ปีการศึกษา 2548
3. การสอนแบบปกติ หมายถึง การสอนวิชาฟิสิกส์ เรื่องแบบจำลองอะตอม โดยไม่ใช้บทเรียนสำเร็จรูป วิชาฟิสิกส์ เรื่องแบบจำลองอะตอม ประกอบการสอน
4. การสอนโดยใช้บทเรียนสำเร็จรูปประกอบ หมายถึง การสอนวิชาฟิสิกส์ เรื่องแบบจำลองอะตอม โดยใช้บทเรียนสำเร็จรูป วิชาฟิสิกส์ เรื่องแบบจำลองอะตอม ประกอบการสอนที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นในการศึกษาเพิ่มเติม
5. ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน หมายถึง คะแนนที่ได้จากการทำแบบทดสอบ วัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาฟิสิกส์ เรื่องแบบจำลองอะตอม ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2548 ที่สร้างขึ้น
6. ประสิทธิภาพของบทเรียนสำเร็จรูป หมายถึง ระดับประสิทธิภาพของ บทเรียนสำเร็จรูป ที่ช่วยให้เกิดความรู้ ความเข้าใจ เกณฑ์ประสิทธิภาพของบทเรียน สำเร็จรูป ผู้วิจัยกำหนดไว้ 80/80 (ไชยยศ เรื่องสุวรรณ, 2533)
  - 80 ตัวแรก หมายถึง ค่าประสิทธิภาพของกระบวนการเรียนการสอนของ บทเรียนสำเร็จรูป คิดเป็นร้อยละของคะแนนเฉลี่ยจากผลการทำแบบทดสอบย่อยระหว่างการ เรียนในบทเรียน
  - 80 ตัวหลัง หมายถึง ค่าประสิทธิภาพของพฤติกรรมที่เปลี่ยนไปในตัว ผู้เรียน คิดเป็นร้อยละของคะแนนเฉลี่ยที่นักเรียนทำได้จากการทดสอบหลังเรียน

### ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. นักเรียนมีโอกาสเรียนด้วยตนเอง และดำเนินการตามความสามารถของตนเอง และเป็น การส่งเสริมการรักการอ่านอีกด้วย
2. ช่วยลดภาระในการสอนของครู เพราะครูจะเป็นผู้ช่วยเหลือนักเรียนในกรณี ที่เกิดปัญหาเท่านั้น



3. สามารถแก้ปัญหาที่นักเรียนที่สอบไม่ผ่านจุดประสงค์การเรียนรู้ให้ผ่านจุดประสงค์การเรียนรู้นั้น ใช้ในการซ่อมเสริมแทนครู หรือใช้ในเวลาที่ครูไม่สามารถเข้าสอนได้ หรือใช้ในการแก้ปัญหาการขาดแคลนครู
4. นักเรียนสามารถเรียนได้ตามความพอใจของตนเอง
5. นักเรียนที่ไม่มีความมั่นใจในการเรียน เมื่อตอบผิดก็ไม่ต้องเกรงว่าจะมีผู้เยาะเย้ย สามารถแก้ไขด้วยตนเองได้
6. ความรู้ที่ได้จากการวิจัยจะเป็นประโยชน์สำหรับ ครู และผู้สนใจจะทำวิจัยและพัฒนาบทเรียนสำเร็จรูปต่อไป

## บทที่ 2

### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การนำเสนอเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวิจัยเรื่อง การใช้บทเรียนสำเร็จรูป วิชาฟิสิกส์ เรื่องแบบจำลองอะตอม ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 โรงเรียนสกลนครพัฒนศึกษา ผู้วิจัยนำเสนอตามลำดับดังนี้

- 2.1 ที่มาและความหมายของบทเรียนสำเร็จรูป
- 2.2 ขอบข่ายบทเรียนสำเร็จรูป
- 2.3 หลักสำคัญของการเรียนการสอนโดยใช้บทเรียนสำเร็จรูป
- 2.4 ทฤษฎีที่เป็นพื้นฐานของบทเรียนสำเร็จรูป
- 2.5 วิธีเขียนบทเรียนสำเร็จรูป
- 2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 ที่มาและความหมายของบทเรียนสำเร็จรูป

บทเรียนโปรแกรมมีจุดเริ่มต้นที่สหรัฐอเมริกา โดย เพรสซี (Sydney L. Pressey < <http://www.geocities.com/mahanin/test2.html> (9 พฤศจิกายน 2549)>) แห่งมหาวิทยาลัยโอไฮโอ ได้ประดิษฐ์ เครื่องสอน (Teaching Machine) ขึ้นมาสำหรับทดสอบนักเรียน เมื่อ พ.ศ. 2463 และได้ทำการปรับปรุงนำออกเผยแพร่ในปี พ.ศ. 2472 แต่เนื่องจากยังไม่ค่อยมีคนเห็นความสำคัญ จึงทำให้ไม่ได้พัฒนาไปเท่าที่ควร

บทเรียนโปรแกรมได้รับความสนใจมากขึ้น ในปี พ.ศ. 2497 เมื่อ สกินเนอร์ (B.F. Skinner < <http://www.geocities.com/mahanin/test2.html> (9 พฤศจิกายน 2549)>) แห่งมหาวิทยาลัยฮาร์วาร์ด ได้เขียนบทความอธิบายหลักการเรียนรู้ ซึ่งนำไปสู่การสร้างบทเรียนโปรแกรม ลงในวารสาร Harvard Education Review และต่อมาสกินเนอร์ได้ประดิษฐ์และทดลองเครื่องสอนของเขา และพิมพ์ผลงานออกเผยแพร่ในวารสาร Science เมื่อปี พ.ศ. 2500 ทำให้บทเรียนโปรแกรมแพร่หลายไปทั่วสหรัฐอเมริกาและประเทศอื่นๆ

ผลการค้นคว้านี้เองทำให้สกินเนอร์ได้รับการยกย่องว่า เป็นผู้ให้กำเนิดบทเรียนโปรแกรมแบบเชิงเส้น

หลังจากนั้น โครว์เดอร์ ซึ่งเป็นนักจิตวิทยาเป็นผู้ทำให้บทเรียนโปรแกรมได้รับความนิยมแพร่หลายมากขึ้น เขาได้ทำการค้นคว้าทดลองเกี่ยวกับบทเรียนโปรแกรมแบบสาขา ได้รับความสำเร็จมากจนได้รับยกย่องว่าเป็นผู้ให้กำเนิด บทเรียนโปรแกรมแบบสาขา บทเรียนโปรแกรมได้รับการพัฒนากันต่อ ๆ มา โดยอาศัยแนวคิดของสกินเนอร์และโครว์เดอร์เป็นหลัก <<http://www.geocities.com/mahanin/test2.html> (9 พฤศจิกายน 2549)> มีการจัดตั้งองค์การเพื่อทำการวิจัยและเผยแพร่บทเรียนโปรแกรมนี้ เช่น มหาวิทยาลัยโคลัมเบีย มหาวิทยาลัยทรินิตี มหาวิทยาลัยเบอร์มิงแฮม และในลอนดอน เป็นต้น บทเรียนโปรแกรมที่สร้างขึ้นในระยะหลัง ๆ นี้ มีการนำเอาการวิเคราะห์งาน (Task Analysis) เกี่ยวกับกระบวนการของการเรียนรู้มาใช้เป็นเครื่องนำทาง และได้มีการนำเอาสื่อการสอนต่าง ๆ เข้ามาใช้ในบทเรียนโปรแกรมด้วย

จากความเป็นมาของบทเรียนโปรแกรมจะเห็นได้ว่า บทเรียนโปรแกรม ได้เริ่มจากเครื่องสอนก่อน <<http://ednet.kku.ac.th/~sumcha/212300/old1.html> (12 พฤศจิกายน 2549)> และอาจจะมีผู้เรียกแตกต่างกันออกไป จนบางครั้งอาจจะทำให้เกิดความสับสนได้ เช่น แบบเรียนสำเร็จรูปตำรา แบบโปรแกรม แบบเรียนด้วยตนเอง เป็นต้น ความจริงแล้ว บทเรียนโปรแกรม เป็นการจัดระบบการเรียนการสอนให้ผู้เรียนได้เรียนตามความสามารถของตนเองอย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งผู้ผลิตบทเรียนโปรแกรมอาจจะสร้างออกมาในลักษณะของเครื่องมือที่เรียกว่า เครื่องช่วยสอน หรือในลักษณะของตำรา หนังสือหรือแบบเรียน ก็เรียกว่า แบบเรียนโปรแกรม หรืออาจจะสร้างในลักษณะอื่น ๆ ซึ่งขึ้นอยู่กับความเหมาะสมในการใช้งาน

บทเรียนโปรแกรมประกอบด้วย บทเรียนขนาดเล็กหลายบทที่เสนอแนวคิด (concept) เดียว เรียกว่า โมดูล (module) และเมื่อนำบทเรียนสำเร็จรูปหลายบทเรียนที่เสนอเนื้อหาสาระต่อเนื่องกันมารวมกันเข้าเกิดเป็นบทเรียนสำเร็จรูปซึ่งเป็นนวัตกรรมและเทคโนโลยีที่เข้ามามีบทบาทในวงการศึกษามาก ซึ่งได้มีนักการศึกษาให้ความหมายของบทเรียนโปรแกรมหรือบทเรียนสำเร็จรูปไว้หลายท่าน ดังนี้

วิททิชและชูลเลอร์ (Witich & Shuller) <<http://www.we-office.th.gs/web-w/e-office/468201-1.pdf> (9 พฤศจิกายน 2549)> ได้ให้ความหมายของบทเรียนโปรแกรมไว้ว่า บทเรียนโปรแกรม เป็นระบบการเสนอบทเรียนอย่างมีระเบียบทีละเล็กทีละน้อยแก่ผู้เรียน บทเรียนแต่ละตอนจะมีเรื่องที่จะให้ผู้เรียนเรียนรู้เรื่องใดเรื่องหนึ่งโดยเฉพาะ และจะมีปัญหาถามเกี่ยวกับเรื่องนั้นโดยตรง เพื่อให้ผู้เรียนตอบปัญหานั้น จากนั้นก็จะเฉลยคำตอบที่ถูกเกี่ยวกับเรื่องนั้นโดยตรง เพื่อให้ผู้เรียนตอบปัญหานั้น จากนั้นก็จะเฉลยคำตอบที่ถูกต้องไว้

บทเรียนโปรแกรมแต่ละตอนจะประกอบไปด้วยเนื้อหาที่ถูกแบ่งออกเป็นส่วนย่อยๆ เรียกว่า กรอบ (frame) ซึ่งกรอบในลำดับต้นๆ จะเชื่อมโยงชักนำไปสู่กรอบต่อไปเสมอ

วิจิตร ศรีสอาน <<http://www.kj.ac.th/e%20book/program/lesson/12/program1.html> (12 พฤศจิกายน 2549)> ให้ความหมายของบทเรียนโปรแกรมไว้ว่า เป็นการเขียนตำราวิธีหนึ่งที่แตกต่างกันออกไปจากตำราที่ใช้กันอยู่ทั่วไป ข้อแตกต่างอยู่ที่การจัดเรียงลำดับเนื้อเรื่อง โดยแบ่งหน่วยและลำดับชั้นย่อยๆ ที่เรียกว่า เฟรม (frame) แต่ละหน่วยมีคำตอบที่ถูกต้องไว้ให้ตรวจสอบได้

สุนทร ศรีศรีคำ <<http://www.kj.ac.th/e%20book/program/lesson/12/program1.html> (12 พฤศจิกายน 2549)> ให้ความหมายของบทเรียนโปรแกรมไว้ว่า เป็นเครื่องมือทางการศึกษาอย่างหนึ่งซึ่งสามารถทำให้นักเรียนคนหนึ่งรับรู้ประสบการณ์ที่จัดไว้เป็นอนุกรมตามลำดับชั้น ตามที่ผู้จัดทำบทเรียนเชื่อว่าจะนำนักเรียนไปสู่ขีดความสามารถที่ต้องการให้เกิดขึ้น

ชัยยงค์ พรหมวงศ์ <<http://ednet.kku.ac.th/~sumcha/212300/old1.html> (12 พฤศจิกายน 2549)> ได้กล่าวไว้คล้ายๆ กันว่า บทเรียนโปรแกรม หมายถึง การจัดระบบการเรียนการสอนที่เปิดโอกาสให้ผู้เรียนประกอบกิจกรรมการเรียนรู้ด้วยตนเองตามเนื้อหา ซึ่งจัดไว้เป็นขั้นตอนเล็กๆ ผู้เรียนมีโอกาสประเมินผลการเรียนรู้ด้วยตนเอง ด้วยการดูจากผลสะท้อนกลับอยู่เสมอ และบางครั้งก็อาจจะได้รับความรู้เพิ่มเติมในเนื้อหาที่นักเรียนยังมีความรู้ไม่ดีพอ ผู้เรียนจะเลือกเรียนได้ตามความสนใจและก้าวไปตามความสามารถของแต่ละคน

เป็รื่อง กุมุท <<http://ednet.kku.ac.th/~sumcha/212300/old1.html> (12 พฤศจิกายน 2549)> ได้อธิบายรายละเอียดเกี่ยวกับบทเรียนโปรแกรมเอาไว้ว่า บทเรียนสำเร็จรูปหรือบทเรียนโปรแกรม เทียบได้กับการสอนของครูที่ดีคนหนึ่งนั่นเอง เมื่อผู้เรียนนำบทเรียนสำเร็จรูปมาเรียน เมื่อนั้นเขาก็กำลังพบกับการสอนของครูดี ๆ เข้าแล้ว ครูที่มาสอนความรู้ ทักษะและทัศนคติ ให้เขา เมื่อไร ที่ไหน ก็ได้ที่เขาต้องการเรียน เป็นการสอนการเรียนแบบตัวต่อตัว และสามารถปรับการสอนให้ผู้เรียนสามารถไปได้ช้าหรือเร็วตามความสามารถของตนได้ บทเรียนนี้มีหลายรูปแบบ แล้วแต่จะบรรจุไว้ในสื่อการสอนอะไร ถ้าบรรจุในเล่มหนังสือก็เรียกว่า แบบเรียนสำเร็จรูปหรือแบบเรียนโปรแกรม ถ้าบรรจุอยู่ในเครื่องมือหรือกลไกอย่างง่าย เรียกว่า เครื่องสอน หรือ Teaching Machine บ้างก็ออกมาในรูปของสื่อโสตทัศนศึกษาบางประเภท เช่น สไลด์เทป ภาพยนตร์ เป็นต้น

ธีระชัย ปุณณโชติ < [http://www.edu.ku.ac.th/publicnews/data/research\\_2005\\_36.pdf](http://www.edu.ku.ac.th/publicnews/data/research_2005_36.pdf) (9 พฤศจิกายน 2549)> ได้ให้ความหมายของบทเรียนโปรแกรมเอาไว้ว่า บทเรียนแบบโปรแกรมหลาย ๆ บทเรียนที่เสนอเนื้อหาเกี่ยวเนื่องกันรวมกันเข้าเป็นแบบเรียนแบบโปรแกรม แบบเรียนแบบโปรแกรมเป็นบทเรียนที่เสนอเนื้อหาของวิชาใดวิชาหนึ่งเป็นขั้นตอนย่อย ๆ อยู่ในรูปของ “กรอบ” หรือ “เฟรม” (Frame) โดยการเสนอเนื้อหาที่ละน้อย มีคำถามให้ผู้เรียนและตอบแล้วเฉลยคำตอบให้ทราบทันที โดยมากบทเรียนแบบโปรแกรมมักจะเป็นรูปของสิ่งพิมพ์ที่เสนอความคิดรวบยอดที่จัดลำดับไว้แล้วเป็นอย่างดี

สันทัต ภิบาลสุขและพิมพ์ใจ ภิบาลสุข < [http://dlibed.kku.ac.th/research\\_pro/du007/2720.pdf](http://dlibed.kku.ac.th/research_pro/du007/2720.pdf) (9 พฤศจิกายน 2549)> กล่าวว่า บทเรียนโปรแกรมเป็นสื่อการเรียนการสอนที่เหมาะสมสำหรับการเรียนการสอนเป็นรายบุคคล เพราะสามารถจัดสถานการณ์การเรียนการสอนที่เอื้อต่อการเรียนรู้ ซึ่งมีอยู่ 4 ประการ ได้แก่

1. การให้ผู้เรียนได้มีส่วนร่วมในการเรียนอย่างกระฉับกระเฉง (Active Participation)
2. การให้ทราบผลการเรียนทันที (Immediate Feedback)
3. การให้มีความรู้สึกภาคภูมิใจ (Successful Experience)
4. การให้เรียนรู้ไปทีละน้อยตามลำดับขั้น (Gradual Approximation)

วิเชียร ชิวพิมาย < [http://dlibed.kku.ac.th/research\\_pro/du007/2720.pdf](http://dlibed.kku.ac.th/research_pro/du007/2720.pdf) (9 พฤศจิกายน 2549)> บทเรียนแบบโปรแกรม เป็นสื่อการเรียนการสอนที่สามารถประยุกต์ในรูปแบบของสื่อ ได้หลายชนิด อาจอยู่ในรูปของสไลด์ วิดิทัศน์ คอมพิวเตอร์ ไม่ว่าจะบทเรียนแบบโปรแกรม จะอยู่ในรูปของสื่อใดก็ตาม ผู้เรียนจะต้องสามารถเรียนรู้ได้ด้วยตนเอง มีปฏิสัมพันธ์โต้ตอบได้ ใกล้เคียงหรือเหมือนกับการเรียนกับครูตัวต่อตัว ในการสร้างบทเรียนแบบโปรแกรมในรูปของสื่ออื่นๆ จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องใช้ความรู้ ความเข้าใจ และทักษะพื้นฐานที่มาจากหลักการ กฎเกณฑ์ วิธีการ และทฤษฎีที่เริ่มต้นด้วยรูปแบบของหนังสือ (Programmed Text) เมื่อผู้สร้างเกิดความเชี่ยวชาญ ชำนาญ และมีทักษะพร้อมในระดับหนึ่ง ก็สามารถปรับเปลี่ยนไปสู่บทเรียนแบบโปรแกรมในรูปของสื่ออื่นๆ ได้

บุญชม ศรีสะอาด < <http://www.freewebs.com/wichaimakyou/wijai1.pdf> (9 พฤศจิกายน 2549)> กล่าวว่า บทเรียนโปรแกรม หรือ บทเรียนสำเร็จรูป (programmed instruction) คือ สื่อการเรียนการสอนที่มุ่งให้ผู้เรียนเรียนด้วยตนเอง จะเร็วหรือช้าตามความสามารถของแต่ละบุคคล โดยแบ่งเนื้อหาออกเป็นหลาย ๆ กรอบ (Frames) แต่ละกรอบจะมีเนื้อหาที่เรียบเรียงไว้ มุ่งให้เกิดการเรียนรู้ตามลำดับ โดยมีส่วนที่ผู้เรียนจะต้องตอบสนองด้วยการเขียนคำตอบ ซึ่งอาจอยู่ในรูปเติมคำในช่องว่าง เลือกคำตอบ ฯลฯ และมีส่วนที่เป็นเฉลยคำตอบที่ถูกต้อง ซึ่งอาจอยู่ข้างหน้าของกรอบนั้น หรือกรอบถัดไป หรืออยู่ที่

ส่วนอื่นของบทเรียนก็ได้ บทเรียนโปรแกรมที่สมบูรณ์ จะมีแบบทดสอบวัดความก้าวหน้าของการเรียน โดยทำการทดสอบก่อนเรียน และหลังเรียน แล้วพิจารณาว่า หลังเรียน ผู้เรียนแต่ละคน มีคะแนนมากกว่าก่อนเรียนมากน้อยเพียงใด

พิชัย ละแมนชัย <<http://www.freewebs.com/wichaimakyou/wijai1.pdf>> (12 พฤศจิกายน 2549)> ได้กล่าวไว้ว่า คำว่าบทเรียนสำเร็จรูป บทเรียนโปรแกรมมีความหมายเหมือนกัน ซึ่งหมายถึงสื่อการเรียนการสอนชนิดหนึ่งที่ใช้หลักจิตวิทยาการเรียนรู้มาเป็นหลักในการพัฒนา สื่อนี้สามารถผลิตมาใช้ในเครื่องช่วยสอน (teaching machine) หรือผลิตออกมาเป็นเอกสารหรือหนังสือ เรียกว่า บทเรียนโปรแกรม (programmed text or programmed book) และในปัจจุบันนี้สามารถนำไปใช้กับคอมพิวเตอร์ ทำเป็นคอมพิวเตอร์ช่วยสอนก็ได้ ถ้านำสื่อนี้ไปใช้ประกอบการสอน เรียกว่า สอนนี้ว่า การสอนแบบโปรแกรม (programmed instruction) บทเรียนสำเร็จรูปเหมาะที่จะใช้เป็นสื่อที่ให้ผู้เรียนได้ศึกษาเป็นรายบุคคล ผู้เรียนจะศึกษาได้ตามความสามารถของตนเอง เมื่อยังไม่เข้าใจก็สามารถกลับไปทบทวนใหม่ได้

กนก จันทร์ขจร <<http://www.freewebs.com/wichaimakyou/wijai1.pdf>> (9 พฤศจิกายน 2549)> สรุปความหมายของบทเรียนสำเร็จรูปไว้ว่า หมายถึงนวัตกรรมทางการสอนประเภทหนึ่งที่ถูกสร้างขึ้นมาเพื่อให้ผู้เรียนสามารถศึกษาได้ด้วยตนเอง โดยการจัดลำดับขั้นตอนของการให้ความรู้แก่ผู้เรียนอย่างเป็นระบบ เป็นไปตามขั้นตอนการเรียนรู้ ผู้เรียนสามารถเรียนได้ตามความสามารถของตนเองอย่างมีประสิทธิภาพ มีผลสัมฤทธิ์สูง สามารถรู้ผลการเรียนของตนเองทันที ในการเรียนวิธีนี้ ต้องปฏิบัติตามคำแนะนำของบทเรียนอย่างเคร่งครัดด้วยความซื่อสัตย์ บทเรียนอาจอยู่ในรูปของหนังสือ สไลด์ เทปโทรทัศน์ หรือคอมพิวเตอร์ เป็นต้น

สรุปได้ว่า บทเรียนโปรแกรมหมายถึง บทเรียนที่นักเรียนสามารถเรียนรู้ได้ด้วยตนเอง สามารถนำนักเรียนไปสู่ขีดความสามารถที่ต้องการตามความสามารถของแต่ละบุคคล โดยอาศัยหลักการของการวางเงื่อนไขระหว่างสิ่งเร้ากับการตอบสนอง มีการกำหนดเนื้อหาไว้อย่างแน่นอน และการจัดวางลำดับเนื้อหาให้เป็นไปตามลำดับขั้นอย่างมีระเบียบแบบแผน เมื่อผู้เรียนตอบแล้วจะสามารถทราบคำตอบได้ทันทีทันใด



อาโวกาโด (Avogadro) พบว่า แก๊สชนิดใดก็ตามที่มีอุณหภูมิและความดันเท่ากัน เมื่อบรรจุในภาชนะขนาดเท่ากันแล้ว จะต้องมีอนุภาคของแก๊สจำนวนเท่ากัน

ดอลตัน ศึกษาการเกิดปฏิกิริยาเคมีในเชิงอะตอม เขาค้นพบว่า การรวมตัวกันของ ธาตุแล้วเกิดเป็นสารประกอบปรากฏว่าธาตุ 2 ชนิดสามารถเกิดเป็นสารประกอบได้มากกว่า 1 อย่าง จึงได้ตั้งกฎทางเคมีที่สำคัญอีกกฎหนึ่ง คือ กฎสัดส่วนพหุคูณ ซึ่งกล่าวว่า ธาตุ 2 ชนิดที่รวมกันเป็นสารประกอบได้มากกว่า 1 ชนิด ถ้าปริมาณของธาตุใดธาตุหนึ่งคงตัว สัดส่วนของปริมาณของธาตุอีกชนิดหนึ่งในสารประกอบเหล่านั้นจะเป็นอัตราส่วนที่เป็น ตัวเลขลงตัวน้อยๆและตั้งเป็นทฤษฎีอะตอม โดยกล่าวว่า

1. สารประกอบด้วยอะตอมซึ่งเป็นหน่วยที่เล็กที่สุด แบ่งแยกต่อไปอีกไม่ได้และ ไม่สามารถสร้างขึ้นหรือทำลายให้สูญหายไปได้ โดยมีแรงซึ่งไม่ทราบแน่ชัดกระทำระหว่าง อะตอมเพื่อยึดอะตอมเข้าด้วยกัน

2. อะตอมของธาตุชนิดเดียวกันจะมีมวลและสมบัติเหมือนกันทุกอย่าง ส่วนอะตอม ของธาตุต่างชนิดกันจะมีลักษณะต่างกัน โดยอะตอมของธาตุแต่ละชนิดจะมีรูปร่างและ น้ำหนักเฉพาะตัว

3. อะตอมของธาตุหนึ่งจะเปลี่ยนไปเป็นอะตอมของธาตุอื่นไม่ได้

4. สารประกอบเกิดจากการรวมตัวของอะตอมของธาตุตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไปใน สัดส่วนที่คงตัว โดยอะตอมจะจัดเรียงตัวกันใหม่เกิดเป็นสารประกอบชนิดใหม่ขึ้นมา ทฤษฎีอะตอมของดอลตัน มีข้อบกพร่องหลายประการ ดังนี้

1. อธิบายไม่ได้ว่า ทำไมธาตุหนึ่งๆ จึงไม่ทำปฏิกิริยากับธาตุทุกชนิด แต่จะทำ ปฏิกิริยาเฉพาะบางธาตุเท่านั้น และทำไมธาตุต่างชนิดกันจึงมีความไวในการทำปฏิกิริยา ต่างกัน

2. อธิบายไม่ได้ว่า ทำไมอะตอมของธาตุต่างชนิดกันจึงมีมวลต่างกัน

3. อธิบายไม่ได้ว่า อะตอมของธาตุทำปฏิกิริยากันอย่างไรเพื่อเกิดเป็นสารประกอบ ขึ้นและมีสิ่งใดยึดเหนี่ยวให้อะตอมเกาะกันอยู่ได้

4. อธิบายไม่ได้ว่า ทำไมไฮโดรเจน 1 อะตอมจึงทำปฏิกิริยากับคลอรีนเพียง 1 อะตอมเกิดเป็นกรดเกลือ (HCl) แต่ออกซิเจน 1 อะตอมต้องใช้ไฮโดรเจน 2 อะตอมจึงจะ เกิดเป็นน้ำ (H<sub>2</sub>O) เป็นต้น

5. อธิบายไม่ได้ว่า อะตอมในสารประกอบอยู่กันได้อย่างไร

จากข้อมูลและแนวคิดต่างๆ ที่กล่าวมาแล้วนั้น เมื่อนำมาสรุปเป็นข้อสังเกตในความเหมือนและ ความแตกต่างของแบบจำลองอะตอมของนักปรัชญาได้ ดังนี้

1. แนวคิดของดีโมคริตุส และดอลตัน เหมือนกันคือ อะตอมเป็นสิ่งที่เล็กที่สุด



แบ่งแยกไม่ได้ (ซึ่งในปัจจุบันพบว่า แบ่งแยกได้โดยวิธีการทางนิวเคลียร์)

2. แนวคิดของดีโมคริตุสต่างจากดอลตันคือ ดีโมคริตุสกล่าวว่า อะตอมของสารทุกชนิดจะเหมือนกันทุกประการ แต่ดอลตันกล่าวว่า อะตอมของธาตุชนิดเดียวกันจะเหมือนกันแต่อะตอมของธาตุต่างชนิดกันจะต่างกัน

3. ทฤษฎีอะตอมของดีโมคริตุสเป็นผลมาจากจินตนาการ แต่ทฤษฎีอะตอมของดอลตันเป็นข้อสรุปที่ได้จากการทดลอง

## เล่มที่ 2 การค้นพบอิเล็กตรอน

การค้นพบอิเล็กตรอนเริ่มขึ้นเมื่อ พ.ศ.2364 ครูว์สันำสิ่งประดิษฐ์สำคัญ 2 ชนิด คือ ปั๊มสุญญากาศ (vacuum pump) และแหล่งกำเนิดไฟฟ้าความต่างศักย์สูง (high voltage source) โดยครูว์สันำแหล่งกำเนิดไฟฟ้าความต่างศักย์สูงประมาณ 10,000–20,000 V มาต่อกับขั้วไฟฟ้า (electrodes) ที่ปลายทั้ง 2 ข้างของ หลอดปล่อยประจุ (discharge tube) คือ ขั้วแคโทด C กับขั้วแอโนด A ซึ่งทำด้วยตัวนำไฟฟ้า เช่น ทองแดง อะลูมิเนียม พลาตินัม จากนั้นใช้ปั๊มสุญญากาศสูบอากาศออกจากหลอดปล่อยประจุที่มีความยาวประมาณ 30 cm ทำให้ความดันของอากาศในหลอดปล่อยประจุลดลงจนระหว่างขั้วไฟฟ้ามีอากาศเหลืออยู่เพียงเล็กน้อย อากาศปริมาณเพียงเล็กน้อยดังกล่าว จะเปลี่ยนสภาพจากฉนวนกลายเป็นตัวนำไฟฟ้าที่ดีพอจนทำให้แก๊สแตกตัวเป็นไอออน และจะสังเกตเห็นปรากฏการณ์ระหว่างขั้วไฟฟ้าของหลอดปล่อยประจุ เกิดเส้นกระแสสีน้ำเงิน (blue streamline) ขึ้นระหว่างขั้วไฟฟ้าทั้งสอง โดยครูว์สเรียกเส้นกระแสสีน้ำเงินว่า รังสีแคโทด (cathode rays) ในปัจจุบันเรียกว่าอิเล็กตรอน

สมบัติของรังสีแคโทด

1. รังสีแคโทดทำให้เกิดการเรืองแสง (fluorescence) ขึ้นในผลึกหลายชนิด เช่น วิลเลียมท์ สังกะสีซัลไฟด์ และไนแก้วด้วยเหมือนกัน
2. รังสีแคโทดเคลื่อนที่เป็นเส้นตรง โดยนำอะลูมิเนียมรูปกากะบาด ขวางทางเดินของรังสีแคโทดจะเกิดเงารูปกากะบาดขึ้นที่ปลายอีกด้านหนึ่งของหลอด
3. เมื่อโปกส์รังสีแคโทดจากเครื่องทรงกลม ให้ตกบนพลาตินัมแผ่นบางๆ ที่วางอยู่บนคานซึ่งทำด้วยแก้ว แผ่นพลาตินัมจะร้อนขึ้นและเปล่งแสงสีแดงออกมา แสดงว่า รังสีแคโทดมีพลังงานจลน์
4. สนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้าทำให้รังสีแคโทดเบี่ยงเบนทางเดินของมันไปจากแนวเดิม

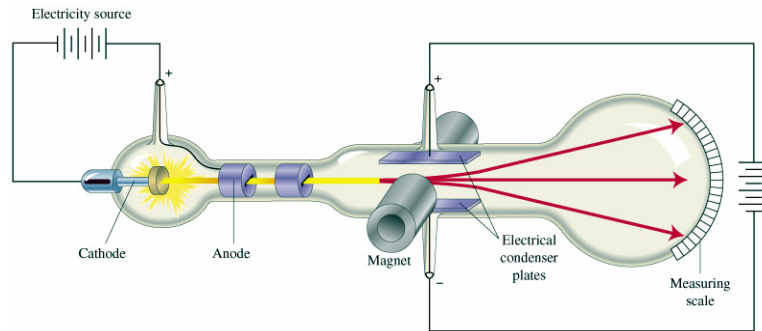
5. รังสีแคโทดมีมวลและโมเมนตัม ซึ่งเป็นสมบัติของอนุภาคเนื่องจากมันผลักก้างล้อให้เคลื่อนที่ได้

6. รังสีแคโทด มีประจุลบ

7. เฮิร์ตซ์ และ สีนาร์ต พบว่า รังสีแคโทดสามารถทะลุผ่านแผ่นอลูมิเนียมบางๆ ได้

8. ไม่ว่าจะบรรจุแก๊สชนิดใดในหลอดปล่อยประจุและไม่ว่าจะใช้โลหะชนิดใดมาทำขั้วหลอดปล่อยประจุ ก็ให้รังสีแคโทดที่เป็นอนุภาคลบเหมือนกัน

จากสมบัติดังกล่าวแสดงว่า รังสีแคโทดมีธรรมชาติเป็นอนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าลบคือกลุ่มของอิเล็กตรอน ทอมสัน (Thomson) ใช้การเบี่ยงเบนของรังสีแคโทดในสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้า วัดค่าประจุต่อมวล ( $q/m$ ) ของอนุภาคในรังสีแคโทด



ทอมสันค้นพบอิเล็กตรอนจากการทดลอง โดยทอมสันใช้เครื่องสำเร็จ (apparatus) โดยปล่อยประจุที่มีแหล่งกำเนิดรังสีแคโทดบรรจุอยู่ที่ปลายด้านซ้ายของหลอด จะเกิดรังสีแคโทดพุ่งออกจากแคโทดไปยังแอโนด และพุ่งตรงออกไปกระทบฉากซึ่งอยู่ที่ปลายด้านขวาของหลอด ผลของการกระทบจะเกิดการวาวแสงเป็นจุดสว่างเล็กๆ ขึ้นบนฉากที่ S โดยเรียกลำรังสีแคโทดที่มีประจุไฟฟ้าลบ ว่า อนุภาครังสีแคโทด และจากการจากการทดลองให้ล่ำรังสีแคโทดผ่านสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก ซ้ำกันหลายๆ ครั้ง ทอมสันพบว่าอัตราส่วนประจุต่อมวลของอนุภาคในรังสีแคโทดมีค่า  $q/m = 1.76 \times 10^{11} \text{ C/kg}$  และจากการทดลองยังพบว่า ประจุของไฮโดรเจนไอออน  $q_{\text{H}^+} / m_{\text{H}^+} = 9.7 \times 10^7 \text{ C/kg}$  เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับกัน จะได้

$$\text{อัตราส่วนของ} \quad \frac{q/m}{(q_{\text{H}^+})/(m_{\text{H}^+})} = \frac{1.76 \times 10^{11} \text{ C/kg}}{9.7 \times 10^7 \text{ C/kg}}$$

$$\frac{m_{\text{H}^+}}{m} = 1814$$

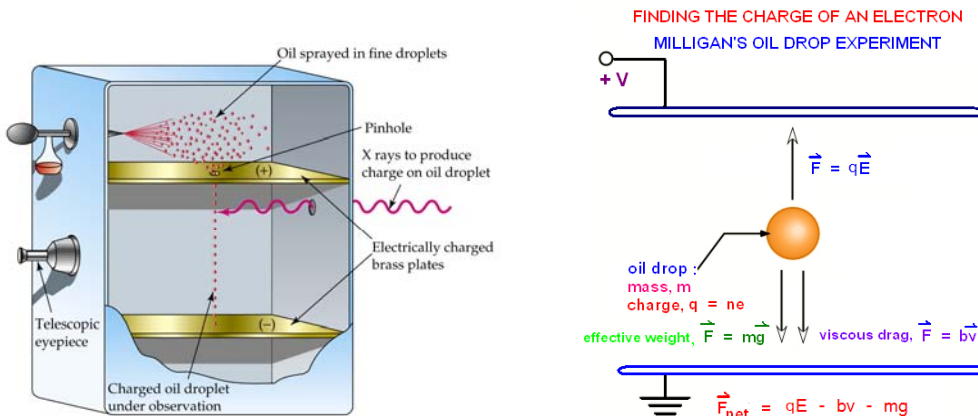
$$\therefore m_{H^+} = 1814 m$$

นั่นคือ มวลของ  $H^+$  มากกว่ามวลของอิเล็กตรอนประมาณ 1,800 เท่า  
ผลการทดลองของทอมสันให้ข้อสรุปว่า

1. อัตราส่วนประจุต่อมวลของอนุภาคในรังสีแคโทด  $q/m = 1.76 \times 10^{11} \text{ C/kg}$
2. ขั้วไฟฟ้าลบทุกชนิดให้อิเล็กตรอนได้ทั้งสิ้น
3. อิเล็กตรอนเบาว่าไฮโดรเจนอะตอมซึ่งเป็นอะตอมที่เบาที่สุดประมาณ 1,800 เท่า
4. อะตอมซึ่งเข้าใจว่าแบ่งแยกไม่ได้นั้นความจริงแบ่งแยกย่อยลงไปได้อีกและอิเล็กตรอนคือ องค์ประกอบสำคัญชนิดหนึ่งของอะตอม

### เล่มที่ 3 การทดลองของมิลลิแกน

ในปี พ.ศ. 2454 มิลลิแกนสามารถหาค่าประจุไฟฟ้าของอิเล็กตรอนได้สำเร็จจากการวัดประจุบนหยดน้ำมันโดยใช้เครื่องสำเร็จ เครื่องสำเร็จหยดน้ำมันที่มิลลิแกนใช้ในการทดลองหาประจุไฟฟ้าของอิเล็กตรอน โดยศึกษาหยดน้ำมันที่ถูกฉีดออกมาส่วนใหญ่มจะมีประจุไฟฟ้าเนื่องจากเกิดการเสียดสีกับปากกระบอกฉีดหรือเสียดสีกับอากาศขณะเคลื่อนที่หยดน้ำมันที่มีประจุบวกจะตกอย่างรวดเร็ว ส่วนหยดน้ำมันที่มีประจุลบจะถูกสนามไฟฟ้าผลักให้วิ่งขึ้นไปหาแผ่นบน จากนั้นจึงปรับสนามไฟฟ้าให้หยดน้ำมันที่มีประจุลบเคลื่อนที่ในสนามไฟฟ้าด้วยอัตราเร็วคงตัว



พิจารณาการเคลื่อนที่ของหยดน้ำมัน จะมีแรงกระทำต่อหยดน้ำมัน 3 แรง คือ

$$F_E = qE = \text{แรงที่สนามไฟฟ้าออกกระทำต่อหยดน้ำมันมวล } m$$

$$f = 6\pi\eta r v_1 = \text{แรงหน่วงที่อากาศออกต่อต้านการเคลื่อนที่ของหยดน้ำมันมวล } m$$

$$W = mg = \text{น้ำหนักซึ่งโลกออกแรงโน้มถ่วงกระทำต่อหยดน้ำมันมวล } m$$

แรงทั้งสามทำให้หยดน้ำมันมวล  $m$  เคลื่อนที่ขึ้นในแนวตั้งด้วยอัตราเร็วคงตัว  $v$  อยู่ในสภาพสมดุลทางพลศาสตร์ ตามกฎนิวตันข้อ 1 คือ

$$\sum \vec{F} = 0$$

$$qE - mg - 6\pi\eta r v_1 = 0$$

$$6\pi\eta r v_1 = qE - mg$$

$$\frac{qE}{6\pi\eta r} = v + v_1$$

$$q = (v + v_1) \cdot \frac{6\pi\eta r}{E}$$

เมื่อทราบค่า  $\eta$ ,  $r$ ,  $E$ ,  $v_1$  และ  $v_2$  เราจึงสามารถหาได้ว่า ประจุลบที่เกาะอยู่บนหยดน้ำมันเมื่อมีการทดลองหยดน้ำมันของมิลลิแกนหลายๆ ครั้ง แล้ววิเคราะห์หาประจุไฟฟ้าของอิเล็กตรอนในหน่วยคูณอมป์ของหยดน้ำมันจะมีค่าดังตารางที่

| หยดน้ำมัน | ค่าประจุในหยดน้ำมัน<br>(C = coulomb) | จำนวนอิเล็กตรอน<br>$1.6 \times 10^{-19}$ C |
|-----------|--------------------------------------|--|
| 1         | $3.2 \times 10^{-19}$                | 2  |
| 2         | $9.6 \times 10^{-19}$                | 6  |
| 3         | $6.4 \times 10^{-19}$                | 4  |
| 4         | $14.4 \times 10^{-19}$               | 9  |
| 5         | $11.2 \times 10^{-19}$               | 7  |
| 6         | $12.8 \times 10^{-19}$               | 8  |
| 7         | $6.4 \times 10^{-19}$                | 4  |
| 8         | $14.4 \times 10^{-19}$               | 9  |

จากตารางจะพบว่า เมื่อใช้ 3.2 หาค่าประจุบนหยดน้ำมันหยดที่ 2, 3, 6, และ 7 ลงตัว ส่วนค่าที่หารทุกๆ หยดลงตัวคือ 1.6 แสดงว่า  $1.6 \times 10^{-19}$  C เป็นค่าต่ำสุดที่เป็นไปได้คือ ขนาดของประจุของอิเล็กตรอนนั่นเอง จึงสรุปว่า ค่าประจุไฟฟ้าของอิเล็กตรอนบนละอองหยดน้ำมัน มีค่าต่างกันเป็นช่วงๆ เป็นลักษณะควอนตา (quanta) ซึ่งเป็นค่าน้อย

ที่สุดในธรรมชาติคือ มีค่า  $q = 1.6 \times 10^{-19}$  C เมื่อนำค่า  $q$  ไปแทนผลผลการทดลอง

$$\text{ของทอมสัน ได้ค่า } \frac{q}{m} = 1.76 \times 10^{11} \frac{\text{C}}{\text{kg}} \text{ จะได้อิเล็กตรอนมีมวล}$$

$$m = 9.1 \times 10^{-31} \text{ kg}$$

12 ปี หลังจากการทดลองรังสีแคโทด มิลลิแกนสามารถหาค่าประจุอิเล็กตรอนจากการที่มิลลิแกนฉีดหยดน้ำมันเข้าไปในลำแสงของมิลลิแกน แล้วสังเกตปฏิกิริยาของหยดน้ำมัน เขาพบว่า ค่าประจุไฟฟ้าบนหยดน้ำมันมีค่าต่างกันเป็นช่วงๆ เป็นลักษณะควอนตา เขาจึงนำค่าประจุของละอองน้ำมันมาลบกันจนได้ค่าแตกต่างที่เล็กที่สุด ค่านั้นคือค่าประจุของอิเล็กตรอน มีค่าเป็น  $1.6 \times 10^{-19}$  C การทดลองของมิลลิแกนมีประโยชน์มากในการศึกษาโครงสร้างของอะตอม

#### เล่มที่ 4 แบบจำลองอะตอมของทอมสัน

ตามปกติแล้วอะตอมจะอยู่ในสภาพเป็นกลางทางไฟฟ้าคือ ภายในอะตอมมีปริมาณประจุไฟฟ้าลบเท่ากับปริมาณประจุไฟฟ้าบวก ประจุไฟฟ้าบวกและประจุไฟฟ้าลบดังกล่าวมีการจัดเรียงตัวกันอย่างไร จึงจะทำให้อะตอมมีเสถียรภาพมากที่สุด (most stable)

เนื่องจากอะตอมเป็นสิ่งที่เล็กมากจนไม่สามารถนำมาศึกษาโครงสร้างด้วยวิธีธรรมดาเหมือนการศึกษาโครงสร้างของวัตถุที่มีขนาดใหญ่หรือสิ่งที่มองเห็นด้วยตาเปล่าได้ การศึกษาเพื่อทำความเข้าใจถึงองค์ประกอบของอะตอมอาจจะทำได้ โดยการจินตนาการรูปร่างลักษณะของอะตอมซึ่งเป็นกระบวนการคิดแบบจำลองของอะตอมนั่นเอง แบบจำลองที่คิดขึ้นอาจไม่ใช่ลักษณะที่แท้จริงของอะตอมก็ได้ แม้ว่าเราจะไม่ทราบรูปร่างจริงๆ ของอะตอม แต่เรายังสามารถสังเกตสมบัติบางอย่างที่เกี่ยวกับอะตอมได้ แบบจำลองอะตอมก็เหมือนกันกับของวัตถุอื่นๆ คือถ้าเป็นแบบจำลองที่ดีจะต้องเก็บลักษณะที่สำคัญแทบทุกอย่างเอาไว้ได้ เราสามารถใช้แบบจำลองดังกล่าวอธิบายสมบัติต่างๆ ของอะตอมได้ตรงกับผลการทดลอง ถ้าแบบจำลองนั้นใช้อธิบายสมบัติบางอย่างของอะตอมไม่ได้ แบบจำลองนั้นจะถูกตัดแปลงหรือยกเลิกไป แล้วคิดหรือหาแบบจำลองอื่นที่อธิบายได้สอดคล้องกับผลการทดลองกว่ามาใช้

ทอมสันได้เสนอแบบจำลองของอะตอมไว้ว่า

- ก. อะตอมมีลักษณะเป็นทรงกลม
- ข. เนื้อทรงกลมส่วนใหญ่เป็นประจุไฟฟ้าบวกที่กระจายกันอยู่อย่างสม่ำเสมอ

ค. มีอิเล็กตรอนซึ่งมีประจุไฟฟ้าลบฝังอยู่ภายในทรงกลม โดยปริมาณของประจุไฟฟ้าลบจะเท่ากับปริมาณของประจุไฟฟ้าบวก

### ข้อบกพร่องของแบบจำลองอะตอมของทอมสัน

แบบจำลองอะตอมของทอมสันอธิบายสมบัติบางประการของอะตอมที่พบในวิชาเคมีขณะนั้น ไม่ได้ เช่น ธาตุโซเดียมซึ่งมีอิเล็กตรอนอยู่ 11 ตัวนั้น อิเล็กตรอนตัวที่ 11 จะหลุดออกจากอะตอมได้ง่ายกว่าอะตอมของนีออน ซึ่งมีอิเล็กตรอน 10 ตัว ตามแบบจำลองอะตอมของทอมสันนั้นสำหรับอะตอมที่มีอิเล็กตรอน 10 ตัว และ 11 ตัว จะคล้ายคลึงกัน ธาตุทั้งสองจึงไม่น่าจะมีสมบัติทางเคมีแตกต่างกันดังที่ตรวจสอบพบ

### เล่มที่ 5 แบบจำลองอะตอมของรัทเทอร์ฟอร์ด

รัทเทอร์ฟอร์ดทำการทดลองโดยใช้  $^{208}\text{Po}$  ที่สลายให้รังสีแอลฟาพุ่งเข้าชนเป้าคือแผ่นทองคำบางๆ (มีความหนาประมาณ  $6 \times 10^{-7}$  m หรือประมาณ 400 อะตอมเรียงกัน) ผ่านไปยังจอฟลูออเรสเซนซ์ซึ่งเคลื่อนที่ได้ (movable fluorescence screen) โดยจอนี้ฉาบไว้ด้วยสังกะสีซัลไฟด์ ( $\text{ZnS}$ ) ซึ่งจะเกิดจุดสว่างขึ้นเมื่ออนุภาคมีประจุไฟฟ้ากระทบมัน แล้วค่อยๆ เลื่อนกล้องจุลทรรศน์ (microscope) ไปตามความโค้งของจอเพื่อสังเกตจุดสว่างบนจอ แล้วหามุมที่อนุภาคแอลฟาเบนไปจากแนวเดิมหลังจากที่อนุภาคแอลฟาวิ่งเข้าชนแผ่นทองคำ ผลการทดลองของรัทเทอร์ฟอร์ด พบว่าอนุภาคแอลฟาเกือบทั้งหมดทะลุผ่านแผ่นทองคำ (gold foil) ไปโดยเกิดการเบี่ยงเบนไปจากแนวเดิมน้อยมาก อนุภาคแอลฟาส่วนน้อยเบนไปเป็นมุม  $90^\circ - 180^\circ$  มีบางอนุภาคกระเจิงย้อนกลับไปในทิศทางเดิม

รัทเทอร์ฟอร์ดวิเคราะห์การกระเจิงของอนุภาคแอลฟาไว้ว่า

1. การที่อนุภาคแอลฟาส่วนมากผ่านทะลุไปได้อย่างสะดวกนั้น แสดงว่าภายในอะตอมมีที่ว่างเปล่าอยู่มาก เนื้อที่ส่วนมากจะไม่แข็ง หรือไม่มีมวลมากพอที่จะทำให้อนุภาคแอลฟาเบนไป
2. ทั้งมวลและประจุบวกของอะตอม จะต้องรวมกันอยู่ในปริมาตรเล็กๆ ที่ศูนย์กลางของอะตอม ส่วนที่เหลือเป็นที่ว่างซึ่งมีอิเล็กตรอนวิ่งวนอยู่รอบศูนย์กลาง
3. เมื่ออนุภาคแอลฟาเฉียดเข้าไปใกล้ศูนย์กลางของอะตอมจะมีแรงผลักรจากประจุบวกของอะตอมทำให้เบนไปเป็นมุมโตๆ ได้
4. อนุภาคแอลฟาวิ่งตรงเข้าหาศูนย์กลางแล้วมีการกระเจิงย้อนกลับ (backward scattering) ได้ เมื่อเกิดการชนแบบประสานงา (head on collision) เพราะอะตอมของทองคำมีมวลมากกว่าอนุภาคแอลฟาประมาณ 50 เท่า และเกิดจากแรงผลักรอย่างรุนแรงระหว่าง

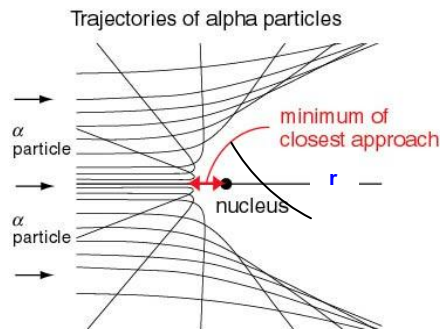
ประจุบวกของอะตอมที่รวมกันอยู่ที่ศูนย์กลางของอะตอมกับประจุบวกของอนุภาคแอลฟา

จากผลการทดลองการกระเจิงของอนุภาคแอลฟา รัทเทอร์ฟอร์ดอธิบายโครงสร้างอะตอมว่า ภายในอะตอมส่วนใหญ่เป็นที่ว่าง มวลส่วนใหญ่ของอะตอมรวมกันอยู่ที่ศูนย์กลางของอะตอมโดยส่วนนี้มีประจุไฟฟ้าบวกและเรียกส่วนนี้ว่า นิวเคลียส โดยมีอิเล็กตรอนวิ่งวนรอบนิวเคลียสอยู่ในระยะห่างๆ

รัทเทอร์ฟอร์ดอาศัยฟิสิกส์แบบฉบับ (classical physics) มาสร้างแบบจำลองของอะตอมขึ้นโดยใช้โครงสร้างของระบบสุริยะเป็นเค้าโครงของอะตอม โดยคิดว่า อิเล็กตรอนโคจรเป็น วงกลมรอบนิวเคลียสอยู่ได้ด้วยแรงทางไฟฟ้าซึ่งเป็นแรงดึงดูดระหว่างประจุลบของอิเล็กตรอนกับประจุบวกในนิวเคลียส โดยขนาดของแรงดังกล่าวเป็นแรงเนื่องจากโปรตอนในนิวเคลียสออกกกระทำต่ออิเล็กตรอนมวล  $m$  เคลื่อนที่เป็นวงกลมรัศมี  $r$  รอบนิวเคลียสด้วยอัตราเร็ว  $v$  และมีอัตราเร่งสู่ศูนย์กลาง  $a = v^2 / r$  เมื่อใช้กฎข้อที่สองของนิวตัน คือ  $F = ma$  จะพลังงานรวม  $E$  เป็นลบ ( $E < 0$ ) หมายถึงอิเล็กตรอนยึดเหนี่ยว (bound electron) ไว้ในอะตอม และเรียกพลังงานรวมนี้ว่า พลังงานยึดเหนี่ยว (binding energy) ถ้าต้องการทำให้อิเล็กตรอนกลายเป็นอิเล็กตรอนอิสระคือหลุดจากวงโคจร จะต้องให้พลังงานกับอิเล็กตรอนไม่ต่ำกว่า  $-E$  ( $-E > 0$ ) เรียกพลังงานเช่นนี้ว่า พลังงานการแตกตัวเป็นไอออน (ionization energy)

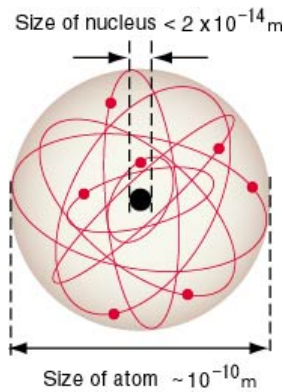
#### การหารัศมีของนิวเคลียสของทองคำ

ในการทดลองของรัทเทอร์ฟอร์ดนั้น เขาใช้อนุภาคแอลฟาเป็นกระสุนยิงไปยังเป้าคือทองคำ และหารัศมีสูงสุดของนิวเคลียสของทองคำเมื่อพิจารณาในกรณีพิเศษที่จุดศูนย์กลางมวลของนิวเคลียสของทองคำกับอนุภาคแอลฟาอยู่ในแนวเดียวกัน จะเกิดการชนแบบประสานงา (head on collision) และเมื่อพลังงานศักย์เนื่องจากแรงผลัที่ประจุบวกผลักันเท่ากับพลังงานจลน์ของอนุภาคแอลฟา อนุภาคแอลฟาจะหยุดนิ่งชั่วขณะหนึ่ง แล้วจะเริ่มกระเจิงย้อนกลับไปในทิศทางเดิม โดยอนุภาคแอลฟาเข้าใกล้นิวเคลียสของเป้าทองคำได้มากที่สุดเป็นระยะทางเท่ากับรัศมีสูงสุดของนิวเคลียสเป้าทองคำ  $r$  เมตร



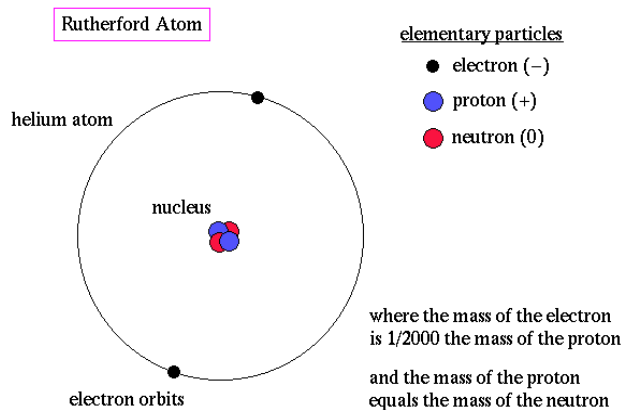
ในการทดลองของรัทเทอร์ฟอร์ดนั้น เขาใช้ออนุภาคแอลฟาเป็นกระสุนยิงไปยังเป้าคือทองคำและหารัศมีสูงสุดของนิวเคลียสของทองคำเมื่อพิจารณาในกรณีพิเศษที่จุดศูนย์กลางมวลของนิวเคลียสของทองคำกับอนุภาคแอลฟาอยู่ในแนวเดียวกันจะเกิดการชนแบบประสานงา (head on collision) และเมื่อพลังงานศักย์เนื่องจากแรงผลัที่ประจุบวกผลักันเท่ากับพลังงานจลน์ของอนุภาคแอลฟา อนุภาคแอลฟาจะหยุดนิ่งชั่วขณะหนึ่ง แล้วจะเริ่มกระเจิงย้อนกลับไปทิศทางเดิม โดยอนุภาคแอลฟาเข้าใกล้นิวเคลียสของเป้าทองคำได้มากที่สุดเป็นระยะทางเท่ากับรัศมีสูงสุดของนิวเคลียสเป้าทองคำ  $r$  เมตร และจากการอนุรักษ์พลังงานจะได้ นั่นคือ นิวเคลียสของทองคำมีรัศมีประมาณ  $10^{-14}$  m

**เปรียบเทียบขนาดของอะตอมกับขนาดของนิวเคลียส**



เมื่อนำรัศมีของนิวเคลียสมาเปรียบเทียบกับรัศมีของอะตอม พบว่า ขนาดของนิวเคลียสเล็กกว่าขนาดของอะตอมประมาณหนึ่งหมื่นเท่า นั่นคือ ในอะตอมจึงมีที่ว่างมากมายและค่า  $r$  ที่หาได้นี้ตรงกับ การทดลองหาค่า  $r$  โดยวิธีอื่น จึงถือเป็นความสำเร็จของทฤษฎีอะตอมของรัทเทอร์ฟอร์ด

**แบบจำลองอะตอมของรัทเทอร์ฟอร์ด (Rutherford Model)**

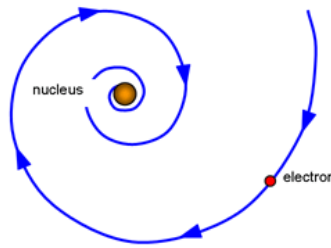




ความไม่สมบูรณ์ของแบบจำลองอะตอมของรัทเทอร์ฟอร์ด

แบบจำลองอะตอมของรัทเทอร์ฟอร์ดใกล้เคียงความเป็นจริง และให้ความเข้าใจเกี่ยวกับโครงสร้างของอะตอมมาก แต่มีปัญหาอีกหลายข้อที่แบบจำลองนี้ตอบไม่ได้คือ

1. อิเล็กตรอนซึ่งเคลื่อนที่รอบนิวเคลียสโดยมีความเร่งจะแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าออกมา ทำให้พลังงานจลน์ของมันลดลง ทำให้ไม่อิเล็กตรอนซึ่งเคลื่อนที่รอบนิวเคลียสตามแบบจำลองอะตอมของรัทเทอร์ฟอร์ดจึงไม่สูญเสียพลังงานจลน์ และไปรวมอยู่ที่นิวเคลียส



2. อะตอมที่มีอิเล็กตรอนมากกว่าหนึ่งตัว เมื่ออิเล็กตรอนรอบนิวเคลียสจะจัดเรียงตัวกันอย่างไร

3. เหตุใดประจุบวกจึงอยู่รวมกันอยู่ในนิวเคลียสได้โดยไม่ผลักกันแต่กระจายออกไป

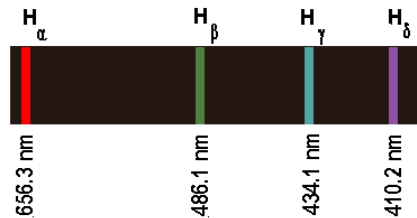
## เล่มที่ 6 สเปกตรัมจากอะตอมของแก๊ส

การศึกษาเรื่องโครงสร้างของอะตอมแบบหนึ่งคือ การศึกษาความถี่ของแสงที่อะตอมของธาตุหรือแก๊สเปล่งออกมาหรือดูดกลืนไว้เมื่อมีอุณหภูมิสูง แถบสีที่มีความถี่ต่างๆ ซึ่งอะตอมของธาตุหรือแก๊สเปล่งออกมานั้นเรียกว่า สเปกตรัมของอะตอม (atomic spectra) เมื่อเพิ่มพลังงานให้กับอะตอมของธาตุหรือแก๊สจนถึงระดับหนึ่ง ทำให้อะตอมมีพลังงานอยู่ในสถานะถูกกระตุ้นแล้วแก๊สจะเปล่งแสงออกมาเป็นสเปกตรัมของอะตอมที่มีความยาวคลื่นและความถี่แตกต่างกันอันเป็นสมบัติเฉพาะตัวของธาตุแต่ละธาตุ

การแยกแสงออกจากสเปกตรัม อาจเกิดขึ้นได้ดังนี้

1. กรณีที่แสงเปล่งออกจากโลหะร้อน เช่น ไส้หลอดไฟทั้งสแตนจะให้สเปกตรัมของอะตอมต่อเนื่องทุกช่วงความยาวคลื่น ซึ่งมีหลายสีหรือหลายความถี่ต่อเนื่องกันไป
2. สเปกตรัมที่ถูกดูดกลืน ประกอบด้วยแสงที่มีความถี่ต่างๆ ในแสงขาวที่ถูกดูดกลืนไว้ เมื่อให้แสงในช่วงความถี่ต่อเนื่องผ่านแก๊สเย็น จะทำให้แก๊สเย็นนั้นดูดกลืนแสงบางความถี่ไว้ จึงเกิดเส้นดำมืดตรงความถี่ที่ถูกดูดกลืนนั้นๆ เรียกว่า สเปกตรัมเส้นมืด
3. สเปกตรัมเส้นสว่างที่เปล่งออกจากอะตอมของแก๊สแต่ละชนิดจะมีลักษณะเฉพาะตัวของมัน โดยอะตอมของแก๊สแต่ละชนิดเปล่งชุดสเปกตรัมเส้นสว่างที่แตกต่างกันไป

บัลเมอร์ (Balmer) สามารถหาสมการเชิงคณิตศาสตร์ที่นำไปใช้คำนวณหาความยาวคลื่นของสเปกตรัมเส้นสว่างของอะตอมของไฮโดรเจนในย่านที่มองเห็นได้ด้วยตาเปล่าจำนวน 4 เส้น ซึ่งสมการเชิงคณิตศาสตร์ที่บัลเมอร์นำมาใช้ คือ



$$\lambda = b \left( \frac{n^2}{n^2 - 2^2} \right)$$

เมื่อ  $b$  เป็นค่าคงตัวซึ่งมีค่าเท่ากับ 364.56 nm

$n$  เป็นเลขจำนวนเต็มที่มีค่ามากกว่า 2

ริดเบิร์ก (Rydberg) ได้จัดรูปแบบของอนุกรมบัลเมอร์ใหม่ให้สะดวกกับการใช้งาน โดยเขียนในรูปแบบทั่วไป และเพื่อให้เกียรติกับการค้นพบของบัลเมอร์ จึงเรียกออนุกรมบัลเมอร์ดังนี้

$$\frac{1}{\lambda} = R_H \left( \frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2} \right)$$

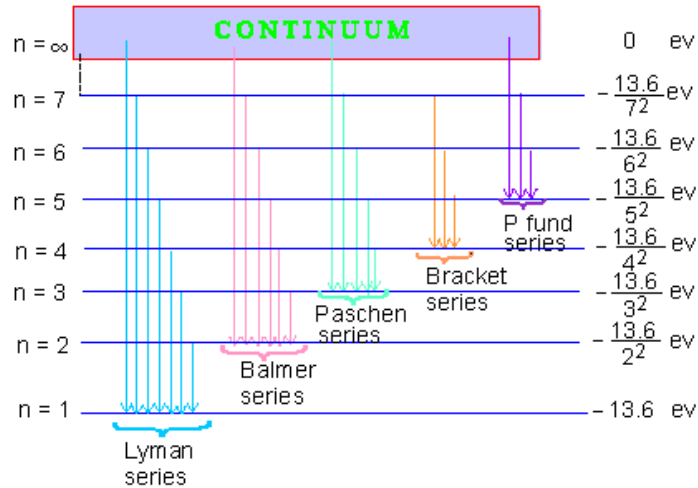
เมื่อ  $R_H$  เป็นค่าคงตัวริดเบิร์ก (Rydberg's constant) มีค่าเท่ากับ  $1.09737 \times 10^7 \text{ m}^{-1}$

อนุกรมของสเปกตรัมชุดต่างๆ ของไฮโดรเจน

ต่อมาได้มีนักวิทยาศาสตร์อีกหลายท่านได้ค้นพบสเปกตรัมในชุดต่าง ๆ ดังตาราง

| ชื่ออนุกรม         | ปีที่ค้นพบ | ช่วงของรังสี | ค่าของ $n_f$ | ค่าของ $n_i$   |
|--------------------|------------|--------------|--------------|----------------|
| ไลแมน (Lyman)      | 2449-2457  | UV           | 1            | 2, 3, 4, ..... |
| บัลเมอร์ (Balmer)  | 2428       | UV/Visible   | 2            | 3, 4, 5, ..... |
| พาสเชน (Paschen)   | 2451       | IR           | 3            | 4, 5, 6, ..... |
| แบรคเกต (Brackett) | 2465       | IR           | 4            | 5, 6, 7, ..... |
| ฟุนด์ (Pfund)      | 2467       | IR           | 5            | 6, 7, 8, ..... |

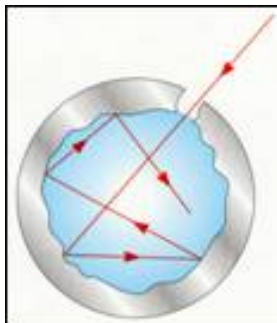
โดยทั่วไปนิยมแสดงการเกิดเส้นสเปกตรัมในรูปของแผนภาพระดับพลังงาน ดังรูป



จากการทดลองด้านสเปกตรัมสรุปได้ว่า

1. เส้นสเปกตรัมของแสงจากหลอดบรรจุแก๊สไฮโดรเจนและหลอดบรรจุแก๊สอื่นอ่อนมีลักษณะเหมือนกันคือเป็นเส้นๆ แยกจากกัน แต่จะประกอบด้วยแสงสีต่างกัน เช่น แก๊สไฮโดรเจนจะเห็นสีแดง น้ำเงิน และม่วง ส่วนแก๊สอื่นอ่อนจะเห็น สีแดง ส้ม และเหลือง
2. เส้นสเปกตรัมของแก๊สชนิดต่างๆ ประกอบด้วยชุดของแสงสีเฉพาะแตกต่างกับเส้นสเปกตรัมของแก๊สชนิดอื่น ถือเป็นสมบัติเฉพาะของธาตุแต่ละชนิด
3. เส้นสเปกตรัมของแก๊สทั้งสองแตกต่างจากสเปกตรัมของหลอดไฟฟ้า เพราะเส้นสเปกตรัมของหลอดไฟฟ้าเป็นสเปกตรัมต่อเนื่อง

### เล่ม 7 การแผ่รังสีของวัตถุดำ



วัตถุดำในทางฟิสิกส์ หมายถึง วัตถุดำที่มีสมบัติดูดกลืนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในทุกย่านความถี่และไม่สะท้อนคลื่นหรือรังสีใดๆ ออกมาเลยและจากหลักของอุณหพลศาสตร์ วัตถุดำเป็นตัวปล่อยรังสีที่ดีที่สุด เช่น เราถือว่าดวงอาทิตย์เป็นวัตถุดำซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าขนาดยักษ์ โดยไม่มีแสงสะท้อนจากดาวดวงอื่นในจักรวาลมาปนอยู่

ด้วย และอีกตัวอย่างหนึ่งคือ วัตถุดำในห้องทดลองเป็นวัตถุดำกลวงผิวซึ่งมีโพรงด้านในที่มีผิวขรุขระและมีช่องเล็กๆ ให้แสงผ่านเข้าไปในโพรงผิว แล้วจะสะท้อนกลับไปกลับมาอยู่ในโพรง

โดยไม่สะท้อนออกมาสู่ภายนอกอีกเลย เมื่อศึกษาสเปกตรัมของรังสีที่แผ่ออกมาจากวัตถุดำ ซึ่งอุณหภูมิต่างๆ กัน สรุปแนวคิด ดังนี้

1. วัตถุดำที่มีอุณหภูมิมากกว่า 0 K จะแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าออกมาทุกย่านความถี่
2. เมื่อวัตถุดำมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น พลังงานในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ณ ความถี่ต่างๆ จะเพิ่มขึ้น
3. ที่อุณหภูมิ T ใดๆ พลังงานที่วัตถุดำปล่อยออกมามีค่าสูงสุด ณ ความถี่หนึ่งซึ่งนิยามว่า ความถี่ของการแผ่รังสีสูงสุด (frequency of maximum radiation)  $f_m$  เพียงค่าหนึ่ง ณ อุณหภูมิใดอุณหภูมิหนึ่งเท่านั้น
4. ที่อุณหภูมิ T ใดๆ วัตถุดำจะแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าความถี่  $f_m$  (หรือ  $\lambda_m$ ) และใกล้เคียงออกมาเป็นส่วนใหญ่ ในขณะที่พลังงานในย่านความถี่ช่วงอื่นๆ มีค่าน้อยมาก
5. พลังงานทั้งหมด (พื้นที่ใต้กราฟ) ณ อุณหภูมิ T ใดๆ แปรโดยตรงกับกำลังสี่ของอุณหภูมิสัมบูรณ์ของวัตถุดำนั้นซึ่งเป็นกฎของสเตฟาน-โบลต์ซมันน์ เขียนแทนด้วยสมการ  $E = KT^4$  เมื่อ  $K =$  ค่าคงตัว
6. ความถี่ของการแผ่รังสีสูงสุด  $f_m$  เป็นสัดส่วนโดยตรงกับอุณหภูมิของวัตถุ ตามกฎของวีน (Wien's Law) คือ  $f_m = 5.9 \times 10^{10} T$

เรย์ลีและจิ้นส์ ได้อธิบายสเปกตรัมในการแผ่รังสีของวัตถุดำที่ได้จากการทดลองว่า อะตอมของวัตถุดำที่มีอุณหภูมิสูงกว่า 0 K จะทำตัวประหนึ่งว่ามีเป็นตัวแกว่งกวัด (oscillator) ซึ่งแต่ละอะตอมให้กำเนิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเพียงความถี่เดียวคือ ความถี่ที่มันกำลังสั่นอยู่ ถ้าตัวแกว่งกวัดได้รับพลังงานเพิ่มขึ้นเล็กน้อย คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่แผ่ออกมาจะมีความถี่เปลี่ยนไปเล็กน้อย เรย์ลีและจิ้นส์จึงตั้งสมมุติฐานว่า พลังงานของตัวแกว่งกวัดแต่ละตัวแปรโดยตรงกับอุณหภูมิสัมบูรณ์ของวัตถุนั้น สมมุติฐานนี้ให้ผลตรงกับการทดลองในย่านความถี่ต่ำ (ความยาวคลื่นสูง) เท่านั้นแต่ให้ผลที่ผิดไปจากการทดลองในย่านความถี่สูง (ความยาวคลื่นต่ำ) เนื่องจากพลังงานของตัวแกว่งกวัดแต่ละตัวที่แกว่งกวัดในย่านความถี่สูง จะแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าออกมามีค่าสูงมากกระทั่งเข้าใกล้อนันต์ (infinity)

ทฤษฎีควอนตัมของการแผ่รังสีของพลังค์ สามารถอธิบายการแผ่รังสีของวัตถุดำได้สอดคล้องกับผลการทดลองในทุกย่านความถี่ โดยตั้งสมมุติฐานเกี่ยวกับตัวแกว่งกวัดอะตอม ขึ้นมา 2 ข้อคือ

1. พลังงานของตัวแกว่งกวัดอะตอมแต่ละตัว จะมีพลังงานได้ตามสมการ
 
$$E = nhf$$

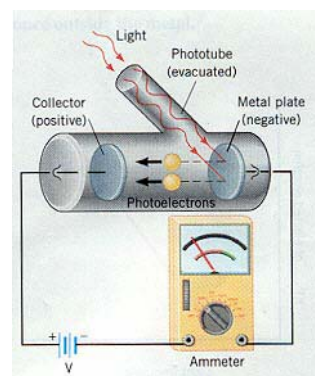
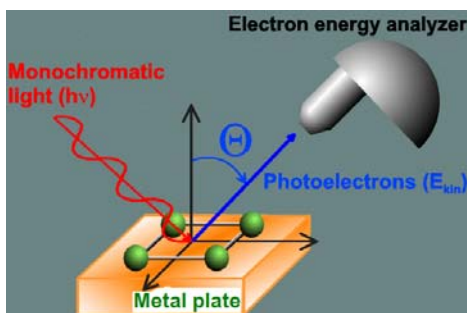
$$n = \text{เลขควอนตัม มีค่าเป็นเลขจำนวนเต็ม} = 1, 2, 3, \dots$$

2. ตัวแกว่งกวัดอะตอมจะรับหรือจ่ายพลังงานไม่ต่อเนื่อง โดยรับหรือจ่ายพลังงานเป็นจำนวนเท่าของ  $hf$  เมื่อตัวแกว่งกวัดตัวหนึ่งเปลี่ยนระดับพลังงานจากระดับหนึ่งไปยังอีกระดับหนึ่ง เรียกการรับและจ่ายพลังงานเช่นนี้ว่า สถานะพลังงานที่ทำให้เป็นควอนตัม เช่น เมื่อ  $n = 1$  จะได้พลังงานมีค่า 1 ควอนตัม ซึ่งหมายถึงสถานะพลังงานที่ทำให้เป็นควอนตัมคือ  $E = hf =$  พลังงาน 1 ควอนตัม อันเป็นหน่วยซึ่งเล็กที่สุดของพลังงานที่สามารถรับหรือจ่ายได้ ทฤษฎีนี้สอดคล้องกับผลการทดลองในการแผ่รังสีของวัตถุดำในทุกย่านความถี่ เป็นความสำเร็จที่นำไปสู่การคิดแบบใหม่คือ สถานะไม่ต่อเนื่องของสสารและพลังงาน อันเป็นจุดเริ่มต้นของทฤษฎีอะตอมของการแผ่รังสี (atomic theory of radiation) ซึ่งพัฒนาต่อมากลายเป็น ทฤษฎีควอนตัม (Quantum theory)

### เล่มที่ 8 ปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก

ในปี พ.ศ. 2430 เฮิร์ตซ์พบว่า เมื่อฉายแสงเอกรงค์ (monochromatic light) ความถี่สูงหรือความยาวคลื่นสั้นไปตกกระทบแผ่นโลหะ (metal plate) บางชนิด (เช่นโซเดียม ซีเซียม โพแทสเซียม) ในภาวะที่เหมาะสม จะได้อนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าหลุดออกมาจากแผ่นโลหะ เรียกปรากฏการณ์เช่นนี้ว่า ปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก

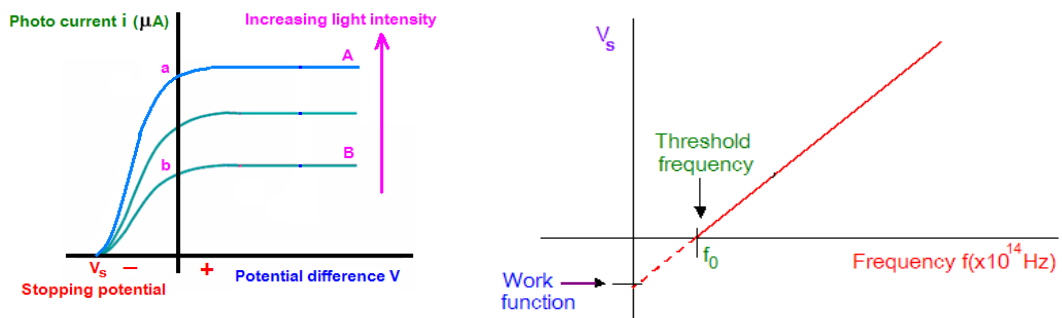
ต่อมาในปี พ.ศ. 2441 ทอมสันทำการวัดประจุไฟฟ้าต่อมวลของอนุภาคที่หลุดออกมาจากแผ่นโลหะดังกล่าว เขาพบว่า มีค่าเท่ากับอิเล็กตรอนซึ่งหลุดออกมาจากแคโทด ทำให้เขาเชื่อว่า อนุภาคที่หลุดออกมาจากโลหะนั้นคือ อิเล็กตรอน จึงเรียกอิเล็กตรอนนั้นว่า โฟโตอิเล็กตรอน (photoelectron) และเรียกกระแสไฟฟ้าที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของโฟโตอิเล็กตรอนว่า กระแสโฟโตอิเล็กตรอน ดังรูป



ในการศึกษาปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก เมื่อฉายแสงเอกรงค์ไปตกกระทบแคโทด จะเกิดโฟโตอิเล็กตรอนเคลื่อนที่จากแคโทดไปยังแอโนด และเกิดกระแสโฟโต ถ้าปรับความ

ต่างศักย์ เพิ่มขึ้น จำนวนโฟโตอิเล็กตรอนที่วิ่งเข้าหาแอโนดจะเพิ่มขึ้น และกระแสโฟโตจะเพิ่มขึ้นจนกระทั่งถึงจุดอิ่มตัวคือกระแสโฟโตคงตัว จากนั้นไม่ว่าจะเพิ่มต่างศักย์ขึ้นอีกเพียงใดก็ตามกระแสโฟโตจะไม่เพิ่มขึ้นอีกเลย เมื่อสลับขั้วไฟฟ้าให้แผ่นรวบรวมเป็นขั้วลบและแผ่นโลหะเป็นขั้วบวกจะเกิดความต่างศักย์หน่วง ระหว่างแคโทดกับแอโนดซึ่งก่อให้เกิดแรงผลักโฟโตอิเล็กตรอนเอาไว้ เมื่อเพิ่มค่าความต่างศักย์หน่วงขึ้นไปเรื่อยๆ จนกระทั่งหยุดโฟโตอิเล็กตรอนได้พอดี ตอนนี้จะไม่มีกระแสโฟโตในวงจร เราเรียกความต่างศักย์หน่วงช่วงนี้ว่า ความต่างศักย์หยุดยั้ง นั่นคือ พลังงานจลน์สูงสุดของโฟโตอิเล็กตรอนเท่ากับพลังงานศักย์หยุดยั้งโฟโตอิเล็กตรอน เขียนแทนด้วยสมการ 
$$\frac{1}{2}mv_{\max}^2 = eV_s$$

เมื่อนำข้อมูลที่ได้อาจจากการทดลองของเครื่องมือดังรูปมาเขียนกราฟระหว่างกระแสโฟโต  $i$  กับความต่างศักย์  $V$



จากกราฟจะพบว่า

1. เมื่อความต่างศักย์  $V$  มีค่าเท่ากับศูนย์ กระแสโฟโต  $i$  จะไม่เป็นศูนย์ (คือที่ตำแหน่ง a และ b) แสดงว่า ยังคงมีอิเล็กตรอนหลุดออกจากแคโทดพุ่งเข้าหาแอโนดอยู่
2. เมื่อเพิ่มความต่างศักย์  $V$  ขึ้นไปถึงค่าหนึ่ง จะพบว่า กระแสโฟโต  $i$  มีค่าคงตัว แสดงว่า มีโฟโตอิเล็กตรอนหลุดออกจากแคโทดพุ่งเข้าหาแอโนดอย่างสม่ำเสมอ
3. เมื่อลดความเข้มของแสงลงเหลือครึ่งหนึ่ง กระแสโฟโต  $i$  จะลดลงเหลือครึ่งหนึ่งด้วยเช่นกัน แต่ค่าของความต่างศักย์หยุดยั้ง  $V_s$  จะมีค่าเท่าเดิม ซึ่งที่จุดนี้จะมีกระแสโฟโต  $i$  มีค่าเป็นศูนย์ ซึ่งหมายถึงไม่เกิดโฟโตอิเล็กตรอน

จึงสรุปได้ว่า จำนวนโฟโตอิเล็กตรอนเป็นปริมาณตรงกับความเข้มของแสง แต่การเพิ่มขึ้นของพลังงานจลน์จึงไม่ขึ้นกับความเข้มของแสงเพราะกราฟเส้น A และ B จะตัดแกนราบที่จุดเดียวกันคือ  $V_s$  ถึงแม้ว่าความเข้มของแสงจะต่างกันถึงสองเท่าก็ตาม แสดงว่า ความต่างศักย์หยุดยั้งเป็นอิสระจากความเข้มของแสง

### ทฤษฎีโฟตอนของไอน์สไตน์ (Einstein's Photon Theory)

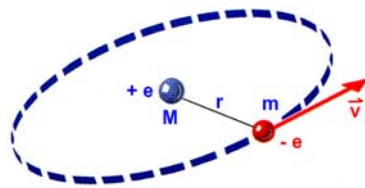
ไอน์สไตน์เสนอทฤษฎีที่ใช้อธิบายปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริกได้สำเร็จโดยวางแนวคิดไว้ว่า แสงเป็นอนุภาคซึ่งเรียกว่า โฟตอน (photon = แสงซึ่งแสดงสมบัติเป็นอนุภาค) และพลังงานของโฟตอนเป็นไปตามทฤษฎีควอนตัมของพลังค์คือ โฟตอนแต่ละตัวจะมีพลังงาน  $E = hf$  ทฤษฎีโฟตอนของไอน์สไตน์ (ซึ่งถือว่า แสงมีสมบัติเป็นอนุภาคสามารถอธิบายปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริกได้ทั้งหมด) อธิบายสิ่งที่น่าสนใจในปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริกได้ 3 อย่าง คือ

1. พลังงานจลน์สูงสุด  $E_{K(\max)}$  ไม่ขึ้นกับความเข้มของแสง เมื่อเพิ่มความเข้มของแสงเป็นสองเท่า พลังงานของโฟตอนแต่ละตัวซึ่งเท่ากับ  $hf$  มีค่าคงเดิมดังรูปที่ 19.38 แต่จำนวนของโฟโตอิเล็กตรอนเพิ่มขึ้นเป็นสองเท่า นั่นคือ  $E_{K(\max)} = hf - W$  จะยังคงเท่าเดิม ดังนั้นค่าของ  $E_{K(\max)}$  จึงไม่ขึ้นกับความเข้มของแสงซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลอง
2. เกี่ยวกับความถี่ขีดเริ่มเปลี่ยน ถ้าพลังงานจลน์สูงสุดมีค่าเท่ากับศูนย์ จากสมการจะเขียนได้เป็น  $hf_0 = W$  หมายความว่า โฟตอนมีพลังงานเพียงที่จะขับเคลื่อนอิเล็กตรอนจากตำแหน่งเดิมมาถึงผิวโลหะเท่านั้น ไม่มีพลังงานเพียงพอที่จะทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกจากผิวโลหะเราเรียกพลังงาน  $W$  ว่า ฟังก์ชันงาน (work function) หรือพลังงานยึดเหนี่ยวซึ่งเป็นสมบัติเฉพาะตัวของโลหะแต่ละชนิด ถ้าความถี่  $f$  ของโฟตอนต่ำกว่า  $f_0$  (ไม่ว่าความเข้มของแสงจะมากเท่าใดก็ตาม) แล้วโฟตอนเหล่านั้นไม่มีพลังงานเพียงพอที่จะทำให้เกิดโฟโตอิเล็กตรอน และเรียก  $f_0$  ว่า ความถี่ขีดเริ่มเปลี่ยน
3. เกี่ยวกับเวลาที่ล่าช้า (time lag) ในการเกิดโฟโตอิเล็กตรอน พลังงานที่อิเล็กตรอนรับจากโฟตอนนั้นต้องรับมาเป็นจำนวนเท่าของ  $hf$  ในทันทีไม่ใช่การรับแบบสะสม ปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริกจึงเกิดในบัดดลหรือไม่เกิดเลยซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริกว่า เมื่อแสงเอกรงค์ (ที่มีความถี่เท่ากับหรือสูงกว่าความถี่ขีดเริ่มเปลี่ยน) กระทบแผ่นโลหะจะเกิดโฟโตอิเล็กตรอนขึ้น ถ้าเพิ่มความเข้มแสงเอกรงค์ให้สูงขึ้นจะได้ปริมาณของโฟโตอิเล็กตรอนสูงขึ้น นักประดิษฐ์จึงนำเอาโลหะบางชนิดที่เหมาะสมมาสร้างอุปกรณ์ทางแสง เช่น การสร้างวงจรถาอิเล็กทรอนิกส์ซึ่งมีหลักการทำงานคือ เมื่อแสงที่มีความเข้มขนาดต่าง ๆ ตกกระทบแผ่นโลหะไวแสงในหลอดโฟโตอิเล็กทริก จะทำให้สวิตช์รีเลย์ปิด-เปิดวงจร เมื่อต่อวงจรธาอิเล็กทรอนิกส์เข้ากับอุปกรณ์ต่าง ๆ เช่น ระบบเตือนภัย เครื่องนับจำนวน เครื่องควบคุมการปิด-เปิดประตูอัตโนมัติ ระบบควบคุมในโรงงานอุตสาหกรรม ระบบตรวจจับควัน ทำให้เราสามารถควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ดังกล่าวได้ ดังรูป ก. สำหรับรูป ข. เป็นวงจรระบบตรวจจับควัน เมื่ออนุภาคควันผ่านเข้า

ไปในเครื่องตรวจจับ อนุภาควันจะทำให้แสงจากแหล่งกำเนิดแสงกระเจิงไปตกที่เซลล์โฟโตอิเล็กทริก ทำให้สัญญาณเตือนภัยดังขึ้น

### เล่มที่ 9 ทฤษฎีอะตอมของโบร์

โบร์เสนอสัจพจน์ (postulate) ใหม่ 4 ข้อ ซึ่งเป็นพื้นฐานของแบบจำลองนี้ คืออิเล็กตรอนเคลื่อนที่เป็นวงกลมรอบนิวเคลียสของไฮโดรเจนอะตอม



วงโคจรที่เป็นไปได้ของอิเล็กตรอนในไฮโดรเจนอะตอม คือวงโคจรที่อิเล็กตรอนมีโมเมนตัมเชิงมุม (angular momentum) คงตัวและมีลักษณะเป็นควอนตัมด้วย โดยโมเมนตัมเชิงมุมจะต้องเป็นจำนวนเท่าของค่าคงตัวมูลฐานค่าหนึ่งคือ  $\hbar$  (อ่านว่า เอช บาร์ โดย  $\hbar = h/2\pi$ ) ซึ่งโมเมนตัมเชิงมุม  $L$  ในวงที่  $n$  เขียนแทนด้วยสมการ

$$L = m r_n v_n = n \frac{h}{2\pi} = n\hbar$$

เมื่อ  $n = 1, 2, 3, \dots =$  เลขควอนตัมของวงโคจร

เมื่ออิเล็กตรอนโคจรอยู่ในวงที่เป็นไปได้ อะตอมจะไม่แผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าออกมา เมื่ออิเล็กตรอนเปลี่ยนวงโคจร มันจะปลดปล่อยพลังงานออกมาหรือรับพลังงานเข้าไปในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ถ้าอิเล็กตรอนกระโดดจากวงโคจรซึ่งมีระดับพลังงานต้นเป็น  $E_{n_i}$  ไปสู่วงโคจรใหม่ที่มีระดับพลังงานสุดท้ายเป็น  $E_{n_f}$  (เมื่อ  $E_{n_i} > E_{n_f}$ ) การเปลี่ยนวงโคจร

ของอิเล็กตรอนเขียนแทนด้วยสมการ  $\Delta E = E_{n_i} - E_{n_f} = hf = \frac{hc}{\lambda}$

ระดับพลังงาน หมายถึงพลังงานทั้งหมดของอิเล็กตรอนซึ่งอยู่ในวงโคจรที่ยินยอม (allowed orbit) ในตอนแรกนั้น โบร์วางแนวคิดไว้ว่า นิวเคลียสอยู่นิ่ง นั่นคือ พลังงานรวมของอะตอมคือ พลังงานรวมของอิเล็กตรอนในวงโคจรรอบนิวเคลียส แต่พลังงานของอะตอมในแบบจำลองอะตอมของโบร์มีพลังงานรวมได้หลายค่าขึ้นกับว่า วงโคจรในวงที่  $n$  มีค่าเป็นเท่าใด สำหรับพลังงานของอิเล็กตรอนในวงที่อยู่ถัดออกไปคือ  $n = 2, 3, 4, \dots$  หาได้จาก



$$E_n \cong -\frac{E_1}{n^2} \cong -\frac{13.57}{n^2} \text{ eV}$$

แสดงว่า พลังงานรวมของอิเล็กตรอนจะมีได้เฉพาะบางค่าหรือบางระดับพลังงานตามค่าของ  $n$  ซึ่งถือได้ว่าเป็นระดับหรือชั้นของพลังงานของอะตอมของไฮโดรเจน

ในภาวะปกติอะตอมจะอยู่ในวงโคจรสถานะพื้น และมีพลังงานรวมเท่ากับพลังงานของสถานะพื้น ( $E_1 = -13.57$  eV สำหรับไฮโดรเจนอะตอม) อันเป็นระดับพลังงานต่ำสุดซึ่งอิเล็กตรอนพึงจะมีได้ ถ้าอิเล็กตรอนในอะตอมถูกกระตุ้นให้ขึ้นไปอยู่ในวงโคจรสถานะถูกกระตุ้นวงใดวงหนึ่งและมีพลังงานเท่ากับพลังงานสถานะถูกกระตุ้น โดยพิจารณาจากจุดเริ่มต้นที่ระดับพลังงานสถานะถูกกระตุ้นนี้เป็นระดับพลังงานเริ่มต้น (initial energy level)  $E_{n_i}$  อิเล็กตรอนไม่อาจจะอยู่ในระดับนี้ได้นาน มันจะต้องกลับลงสู่ระดับพลังงานที่ต่ำลงมาในระดับใดก็ได้ อิเล็กตรอนจะลดระดับพลังงานลงมา จนกว่าจะตกลงสู่ระดับพลังงานสถานะพื้นจึงจะหยุดกระโดด ถ้าให้ระดับพลังงานในวงสุดท้ายที่กระโดดลงมาเป็นระดับพลังงานสุดท้าย (final energy level)  $E_{n_f}$  ในการลดระดับพลังงานแต่ละครั้งมันจะปลดปล่อยพลังงานออกมาในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งโบร์นำเสนอในสมมุติฐานข้อที่ 3 ว่า พลังงานที่อิเล็กตรอนปลดปล่อยออกมาคือ  $\Delta E = E_{n_i} - E_{n_f}$  เป็นโฟตอนหนึ่งตัว ความยาวคลื่นของโฟตอนที่ปล่อยออกมา คือ

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{hc}{\Delta E}$$

$$\lambda = \frac{hc}{E_{n_i} - E_{n_f}}$$

แทนค่า  $E_{n_i}$  และ  $E_{n_f}$  จากสมการจะได้

$$\frac{1}{\lambda} = R_H \cdot \left( \frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2} \right)$$

$$\text{เมื่อ } R_H = \frac{2m\pi^2 k^2 e^4}{h^3 c} = -\frac{E_1}{hc}$$

$$= 1.0974 \times 10^7 \text{ m}^{-1} = \text{Rydberg constant}$$

ความสำเร็จของทฤษฎีอะตอมของโบร์ สรุปได้เป็นข้อ ๆ ดังนี้

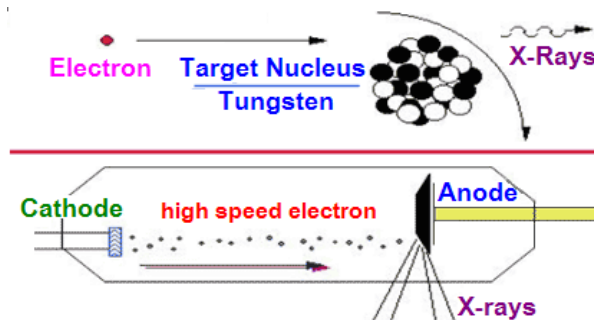
1. อธิบายได้ว่า ทำไมอะตอมจึงเสถียร อันเป็นปัญหาที่รัทเทอร์ฟอร์ดอธิบายไม่ได้
2. อธิบายการเกิดสเปกตรัมเปล่งออก และสเปกตรัมดูดกลืน ในอะตอมที่มีลักษณะคล้ายอะตอมของไฮโดรเจน ได้ใกล้เคียงกับผลการทดลอง
3. ทำนายค่าพลังงานในการแตกตัวเป็นไอออน (ionization energy) ของอะตอมที่มีอิเล็กตรอนหนึ่งตัวได้ถูกต้อง

ความไม่สมบูรณ์ของทฤษฎีอะตอมของโบร์

1. คำนวณความเข้มของเส้นสเปกตรัมไม่ได้ ทั้งๆ ที่ในการทดลองพบว่าแต่ละเส้นมีความเข้มไม่เท่ากัน
2. อธิบายการเกิดเส้นสเปกตรัมของอะตอมที่มีอิเล็กตรอนหลายตัวไม่ได้
3. อธิบายการรวมตัวกันระหว่างอะตอมเกิดเป็นโมเลกุลไม่ได้
4. เมื่อนำสเปกตรัมของอะตอมมาวางไว้ในสนามแม่เหล็กพบว่า สเปกตรัมเส้นหนึ่งจะแยกออกเป็นหลายเส้นที่อยู่ใกล้กันมาก
6. อธิบายไม่ได้ว่า ทำไมจึงเกิดการกระเจิงเฉพาะระดับพลังงานบางระดับเท่านั้น

### เล่มที่ 10 รังสีเอกซ์

ปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริกเกิดจากโฟตอนของแสงถ่ายเทพลังงานให้กับอิเล็กตรอน ทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกมาจากผิวโลหะ แล้วกระบวนการย้อนกลับกับปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริกคือ เมื่ออิเล็กตรอนพุ่งเข้าชนนิวเคลียสเป้า (target nucleus) จะเกิดโฟตอนขึ้นได้ เรินต์เกนยืนยันแนวคิดดังกล่าวด้วยการทดลองในปี พ.ศ.2438 โดยการยิงอิเล็กตรอนอัตราเร็วสูง ไปกระทบนิวเคลียสเป้าจะเกิดโฟตอนหรือคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในย่านความถี่ของรังสีเอกซ์ซึ่งมีความถี่ในช่วง  $10^{16} - 10^{22}$  Hz หรือ ความยาวคลื่นอยู่ระหว่าง  $10^{-8} - 10^{-13}$  m ที่มีอำนาจทะลุทะลวงสูงแผ่ออกมา



รังสีเอกซ์ที่เรินต์เกนค้นพบมีสมบัติ ดังนี้

1. เป็นทั้งคลื่นและอนุภาค การที่มีสมบัติเป็นคลื่นเพราะมีการสะท้อน หักเห แทรกสอด เลี้ยวเบน โพรราไลเซชัน และเป็นอนุภาคเพราะมีโมเมนตัมเหมือนอนุภาคทั่วไป
2. เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มองไม่เห็น ไม่เบี่ยงเบนในสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้า มีความยาวคลื่นอยู่ในช่วงประมาณ  $1.3 \times 10^{-11}$  ถึง  $4.8 \times 10^{-11}$  m
3. ประกอบด้วยรังสีที่มีความยาวคลื่นแตกต่างกันมาก เคลื่อนที่เป็นเส้นตรงด้วยความเร็วเท่ากับความเร็วแสงคือมีค่า  $3 \times 10^8$  m/s ในสุญญากาศ
4. สามารถทะลุผ่านวัตถุที่ไม่หนาจนเกินไปและมีความหนาแน่นต่ำได้ เช่น กระดาษ ไม้ เนื้อเยื่อของคนและสัตว์ แต่ถ้าผ่านวัตถุที่มีความหนาแน่นมาก ๆ เช่น แพลตตินัม ตะกั่ว กระจก อ่างน้ำจะทะลุทะลวงก็จะลดลง
5. สามารถทำให้อากาศหรือแก๊สแตกตัวเป็นไอออนได้
6. ทำให้ผลึกบางชนิดเรืองแสงแล้วแสงนั้นมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า
7. ยิ่งเพิ่มความเร็วหรือพลังงานจลน์ของอิเล็กตรอนให้มากขึ้นเท่าใด รังสีเอกซ์ที่เกิดขึ้นจะยิ่งมีอำนาจทะลุทะลวงสูงขึ้นเท่านั้น
8. ถ้าเพิ่มจำนวนอิเล็กตรอนที่ยิงไปยังนิวเคลียสเป้า ความเข้มของรังสีเอกซ์จะเพิ่มมากขึ้นด้วย
9. ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีได้ เช่นเมื่อรังสีเอกซ์ไปกระทบฟิล์มถ่ายรูปจะทำให้ฟิล์มดำ จึงนำผลอันนี้มาใช้ในการถ่ายภาพบนฟิล์มเอกซ์เรย์

รังสีเอกซ์ก่อกำเนิดได้ 2 กระบวนการ คือ

1. การก่อกำเนิดรังสีเอกซ์ต่อเนื่อง เมื่ออิเล็กตรอนชนหรือเคลื่อนที่เข้าไปใกล้นิวเคลียสเป้าซึ่งมีประจุบวก อันตรกิริยาระหว่างสนามไฟฟ้าของอิเล็กตรอนกับนิวเคลียสเป้าจะทำให้อิเล็กตรอนมีอัตราเร็วเปลี่ยนไปเกิดอัตราเร่งเมื่ออิเล็กตรอนเคลื่อนที่ผ่านนิวเคลียสเป้าไปแล้วจะมีพลังงานจลน์ (อัตราเร็ว) ลดลง จึงแผ่รังสีเอกซ์ที่มีความยาวคลื่นต่อเนื่อง เกิดเป็นสเปกตรัมต่อเนื่องออกมา
2. การก่อกำเนิดรังสีเอกซ์ลักษณะเฉพาะ (Characteristic x-rays generation) เมื่อลำอนุภาคมีประจุ (particle beam) วิ่งเข้าชนนิวเคลียสเป้า (target nucleus) ถ้าพลังงานของอนุภาคมีประจุตัวที่วิ่งชนมากกว่าพลังงานยึดเหนี่ยวของอิเล็กตรอน อันตรกิริยาระหว่างลำอนุภาคมีประจุกับอิเล็กตรอนซึ่งอยู่ในวงโคจรวงในของนิวเคลียสเป้า จะทำให้อิเล็กตรอนวงในหลุดออกจากอะตอมของนิวเคลียสเป้ากลายเป็นอิเล็กตรอนอิสระ แล้วอิเล็กตรอนจากวงโคจรอื่นที่อยู่ในวงโคจรถัดออกไปจะวิ่งเข้าไปแทนที่ พร้อมทั้งปลดปล่อยพลังงานออกมาในรูปของรังสีเอกซ์ลักษณะเฉพาะที่มีพลังงานเฉพาะตัวของมันโดยพลังงาน

ของรังสีเอกซ์ลักษณะเฉพาะจะมีพลังงานเท่ากับผลต่างระหว่างระดับพลังงานที่อิเล็กตรอนเปลี่ยนวงโคจร

ถ้าพิจารณาอิเล็กตรอนซึ่งเปลี่ยนระดับพลังงานจากวงนอกซึ่งมีพลังงาน  $E_{ni}$  ที่มีพลังงานสูงกว่า ไปยังวงในซึ่งมีพลังงาน  $E_{nf}$  ที่มีพลังงานต่ำกว่า อิเล็กตรอนจะปลดปล่อยพลังงานออกมาในรูปของโฟตอนของรังสีเอกซ์ที่มีลักษณะเฉพาะ

สรุปการทดลองเรื่องรังสีเอกซ์

ก. เป็นกระบวนการที่กลับกับปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก เนื่องจากรังสีเอกซ์ที่เกิดขึ้นมีความยาวคลื่นต่ำสุด  $1 \text{ \AA}$  แสดงว่า รังสีเอกซ์มีสมบัติของอนุภาค

ข. รังสีเอกซ์ลักษณะเฉพาะเกิดจากอิเล็กตรอนถูกเร่งให้มีพลังงานมากพอที่จะผ่านเข้าไปชนกับอิเล็กตรอนในวงโคจรชั้นในของอะตอม ทำให้อิเล็กตรอนวงในหลุดไป อิเล็กตรอนในวงโคจรถัดออกมาซึ่งมีพลังงานสูงกว่าจะกระโดดเข้าไปแทนที่พร้อมกับปล่อยพลังงานส่วนเกินออกมาในรูปของรังสีเอกซ์ การเปลี่ยนแปลงในอะตอมเช่นนี้เป็นไปในทำนองเดียวกับการเกิดสเปกตรัมในอนุกรมบัลเมอร์ หรือไลแมนของไฮโดรเจนอะตอมรังสีเอกซ์ที่เกิดขึ้นจะมีความยาวคลื่นเป็นค่าเฉพาะซึ่งแตกต่างกันไปตามชนิดของโลหะที่เป็นเป้า

### เล่มที่ 11 สมมุติฐานของ เดอ เบรย

ในปี พ.ศ. 2467 เดอ เบรย เสนอสมมุติฐานทางฟิสิกส์ (ตรงตามต้นฉบับเดิมของ เดอ เบรย) ว่า จากหลักความไม่แน่นอน จากผลการทดลองของเดวิดสัน และ เจอเมอร์ และ โพลาริเซชันของอิเล็กตรอน ทำให้เราต้องยอมรับว่า อิเล็กตรอนนั้นไม่ใช่ทั้งคลื่นและอนุภาค แต่เป็นรูปแบบหนึ่งของการดำรงอยู่ที่เราไม่สามารถสังเกตมันได้โดยตรงทำให้สมบัติที่ว่า เราไม่สามารถเข้าใจหรือรับรู้สถานะการดำรงอยู่ของอิเล็กตรอนได้ด้วยประสาทสัมผัสซึ่งใช้ในชีวิตประจำวันของเรา รูปนัยนิยม (formalism) ของทฤษฎีกลศาสตร์ควอนตัมเริ่มต้นจากสมมุติฐานนี้ เดอ เบรย นำเอาแนวคิดและสมการของไอน์สไตน์และพลังค์มาเขียนเป็นสมการซึ่งบรรยายว่า สสารหรืออนุภาคย่อมมีคลื่นสสาร (matter wave) ชนิดหนึ่งเป็นสมบัติทวิภาวะประจำตัวซึ่งความยาวคลื่นของคลื่นสสารคือ  $\lambda$  จากทฤษฎีควอนตัมของพลังค์ซึ่งแสดงสมบัติทวิภาวะอันเป็นความสัมพันธ์ระหว่างคลื่นและอนุภาค กล่าวคือ แสงมีสภาพเป็นอนุภาคได้โดยที่อนุภาคหนึ่งๆ นั่นคือ โฟตอนที่มีความถี่  $\nu$  นั่นคือ  $E = h\nu$  และจากความสัมพันธ์ของสภาพทวิภาวะของไอน์สไตน์ การเปลี่ยนแปลงสภาวะไปมาระหว่างสสารและพลังงาน นั่นคือ  $E = mc^2$  เมื่อนำสมบัติทวิภาวะของทั้งสองทฤษฎี

มาใช้กับแสง

$$\text{จะได้ } mc^2 = hf$$

$$\therefore \lambda = \frac{h}{p}$$

จากความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติทวิภาวะหลายๆ อย่างในธรรมชาติ ดังสมการ ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนตัม (ซึ่งเป็นสมบัติของอนุภาค) กับ ความยาวคลื่นของโฟตอน และค่าคงตัวของพลังค์ น่าจะนำมาใช้กับสสารได้เช่นเดียวกับแสง เดอ เบรย จึงเสนอแบบจำลองคณิตศาสตร์ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง โมเมนตัมของอนุภาคกับความยาวคลื่นของคลื่นที่สมทบ (associate) กับอนุภาค ซึ่งตีความในทางฟิสิกส์ว่า สสาร (หรืออนุภาค) ทั้งหมดควรมีคลื่นสสารเป็นสมบัติประจำตัวของมันเสมอ โดยคลื่นสสารนั้นมีความยาวคลื่น  $\lambda = h/p$  และเรียกความยาวคลื่นสสารหรือความยาวคลื่นของอนุภาคว่า ความยาวคลื่นเดอ เบรย (De Broglie wavelength) ของสสารหรือในปี พ.ศ. 2470 จอร์จ พาเก็ต ทอมสัน (George Paget Thomson) บุตรของ เจ เจ ทอมสันทำการทดลองพบว่า เมื่อยิงอนุภาคอิเล็กตรอนที่มีอัตราเร็วสูงผ่านโลหะแผ่นบาง เช่น เงิน ทองคำ อะลูมิเนียม อิเล็กตรอนจะเลี้ยวเบนผ่านผลึกโลหะซึ่งทำหน้าที่เป็นเกรตติงไปแทรกสอดบนฟิล์ม เกิดเป็นภาพที่มีลักษณะคล้ายกับภาพการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์เมื่อเกิดการเลี้ยวเบนผ่านผลึกโลหะไปเกิดการแทรกสอดบนฟิล์ม แสดงว่า คลื่นแสดงสมบัติของอนุภาคและอนุภาคแสดงสมบัติของคลื่นได้ เรียกสมบัติดังกล่าวว่า ทวิภาวะของคลื่นและอนุภาค

นั่นคือ ทฤษฎีคลื่นสสารของ เดอ เบรย ได้รับการพิสูจน์ยืนยันด้วยการทดลองว่า ถูกต้องและเป็นความจริงแท้ของธรรมชาติ ทำให้ทฤษฎีคลื่นสสารยืนยงมาได้ถึงปัจจุบัน ข้อสังเกตสำหรับทฤษฎีคลื่นสสาร

1. เราสามารถพิจารณาอนุภาคในรูปของคลื่นได้เช่นเดียวกับที่พิจารณาคลื่นในรูปของอนุภาค

คลื่นสสารของวัตถุที่มีมวลสูง (ขนาดใหญ่) จะมีค่าความยาวคลื่นน้อยมากจนไม่สามารถใช้เครื่องมือใดๆ วัดได้

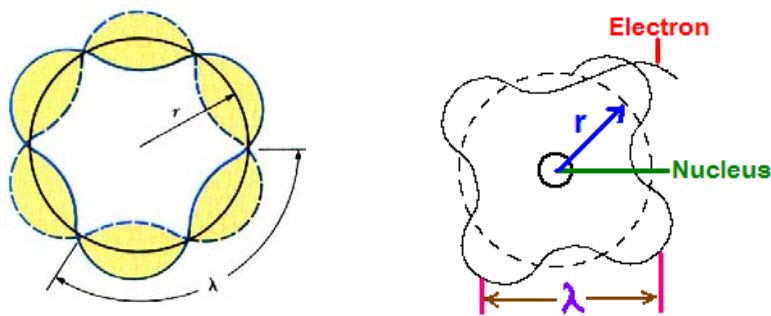
คลื่นสสารของวัตถุที่มีขนาดเล็ก เช่น อนุภาคมูลฐานทั้งหลายในอะตอมนั้น เราสามารถวัดความยาวคลื่นได้

เดอ เบรย ใช้ทฤษฎีของเขาอธิบายสมมุติฐานที่ใช้ในทฤษฎีอะตอมของโบร์ว่า อิเล็กตรอนเคลื่อนที่รอบนิวเคลียสได้โดยไม่มีการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าออกมา เนื่องจากอิเล็กตรอนมีโมเมนตัมเชิงมุม  $mv_n r_n = n\hbar$  โดยโบร์อธิบายไม่ได้ว่า ทำไมจึงเป็นเช่นนั้น

แต่เดอ เบรย อธิบายได้อธิบายว่าเราสามารถบรรจุคลื่นสสารของอิเล็กตรอน  $n$  ช่วงคลื่นในระยะทางเท่ากับเส้นรอบวงของวงโคจรวงที่  $n$  พอดี เมื่อ  $n = 1, 2, 3, \dots$  เรียกสภาพนี้ว่าวงโคจรที่ทำให้เป็นควอนตัม (quantum orbit) กล่าวคือ วงโคจรทุกวงที่จะมีได้ของอิเล็กตรอนคือวงที่มีความยาวเท่ากับจำนวนเท่าซึ่งเป็นเลขจำนวนเต็มของความยาวคลื่นสสารของเดอ เบรย ของอิเล็กตรอน ถ้าอิเล็กตรอนอยู่ในวงต้องห้าม (forbidden orbit) เช่น

$$n = \frac{1}{2}, \frac{3}{4}, \frac{5}{6}, \dots \text{ ซึ่ง } n \text{ ไม่เป็นเลขจำนวนเต็มใดๆ แล้ว อิเล็กตรอนจะแผ่รังสีในรูป}$$

ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าออกมาเพื่อลดพลังงานลงแล้วตกลงไปยังวงที่อนุญาตให้อยู่ได้ (วงที่  $n$  เป็นเลขจำนวนเต็มเท่าของความยาวคลื่นสสาร) ในวงที่ถดถอยไป แต่ถ้าอิเล็กตรอนอยู่ในวงที่ยินยอม (allowed orbit) แล้วมันจะไม่แผ่รังสีออกมาเพื่อลดพลังงานอีกต่อไป คล้ายกับว่าวงที่ยินยอมให้อยู่ได้นั้นมีคลื่นสสารของ เดอ เบรย เป็นคลื่นนิ่ง (standing wave) ที่คงสภาพของความถี่ คาบ และความยาวคลื่นให้คงตัวอยู่ได้ตลอดไป โดยไม่เสียพลังงานใดๆ ออกไปเลย



นั่นคือ เดอ เบรย อธิบายได้ว่า อิเล็กตรอนเคลื่อนที่รอบนิวเคลียสโดยแสดงสมบัติของคลื่นนิ่งซึ่งจะเกิดขึ้นเมื่อความยาวของเส้นรอบวงมีค่าเท่ากับจำนวนเต็มเท่าของความยาวคลื่นของอิเล็กตรอน ทำให้อิเล็กตรอนในอะตอมไม่แผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าออกมาเลย

## เล่มที่ 12 หลักความไม่แน่นอนและ โครงสร้างอะตอมตามแนวคิดกลศาสตร์ควอนตัม

เมื่อปี พ.ศ. 2470 ไฮเซนเบิร์กได้ตั้งหลักของความไม่แน่นอนซึ่งกล่าวว่า ในธรรมชาติของการวัดย่อมมีความไม่แน่นอนที่เกิดจากอันตรกิริยาระหว่างเครื่องมือวัดและระบบแฝงอยู่เสมอ เช่นเราไม่สามารถวัดตำแหน่งและโมเมนตัมของระบบให้แน่นอนพร้อมกันได้ และผลคูณของความไม่แน่นอนของการวัดตำแหน่งและโมเมนตัมจะมีค่าไม่น้อยกว่า

ค่าคงตัวของพลังค์ หลักความไม่แน่นอนของไฮเซนเบิร์กเขียนแทนด้วยสมการ

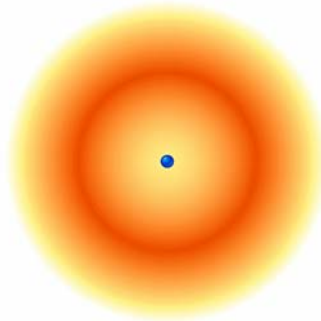
$$(\Delta x)(\Delta p) \geq \hbar$$

เมื่อ  $\Delta x$  เป็นความไม่แน่นอนของการวัดตำแหน่ง,  $\Delta p$  เป็นความไม่แน่นอนของโมเมนตัม หลักความไม่แน่นอนสามารถเขียนในรูปของผลคูณระหว่าง ความไม่แน่นอนในการวัด พลังงานรวม ( $\Delta E$ ) และความไม่แน่นอนในการวัดเวลา  $\Delta t$  ได้ดังนี้

$$(\Delta x)(\Delta p) = (\Delta E)(\Delta t) \geq \hbar$$

จากสมการนี้บอกเราว่า ไม่ว่าเราจะมีพัฒนาการที่ก้าวหน้าเพียงใดก็ตาม จะไม่สามารถบอกตำแหน่งและโมเมนตัมของอนุภาคพร้อมๆ กัน ณ เวลาเดียวกัน โดยมีความผิดพลาดน้อยกว่า  $\hbar$  ได้ นั่นคือ หลักความไม่แน่นอนจึงเป็นประวัติศาสตร์ที่สำคัญหน้าหนึ่งของเราที่แสดงถึงความก้าวหน้าอีกก้าวหนึ่งของเราในการพัฒนาวิชากลศาสตร์ควอนตัม และทำให้เราเข้าใจธรรมชาติเพิ่มขึ้นว่า ปรากฏการณ์หรือเหตุการณ์ต่างๆ มีความน่าจะเป็นหรือโอกาสที่จะเกิดขึ้นในรูปแบบของสถิติอีกด้วย

โครงสร้างอะตอมจากกลศาสตร์ควอนตัม ทำให้เราได้ภาพอะตอมที่มีลักษณะเป็นกลุ่มหมอกของอิเล็กตรอนแทนวงโคจรที่แน่นอนตามแนวคิดของโบร์



เพราะตามหลักของความไม่แน่นอน เราจึงบอกตำแหน่งที่แน่นอนของอิเล็กตรอนไม่ได้ การที่จะบอกว่าอิเล็กตรอนวิ่งอยู่ในวงนั้นหรือวงนี้จึงไม่มีความหมายอะไร เราบอกได้แต่เพียงว่าที่ใดที่หนึ่งรอบๆ นิวเคลียสมีโอกาสที่จะพบอิเล็กตรอนได้มากหรือน้อยเท่านั้น ตรงไหนที่มีโอกาสจะพบอิเล็กตรอนมากก็แทนด้วยกลุ่มหมอกที่หนาแน่นมาก ตรงไหนมีโอกาสพบอิเล็กตรอนน้อยกลุ่มหมอกก็เบาบาง

ภาพกลุ่มหมอกอิเล็กตรอนของอะตอมมีหลายแบบเช่น อะตอมไฮโดรเจนซึ่งอิเล็กตรอนมีระดับพลังงานต่ำสุด กลุ่มหมอกอิเล็กตรอนจะมีรูปร่างเป็นทรงกลม ซึ่งมีความหมายว่า เรามีโอกาสที่จะพบอิเล็กตรอนในตำแหน่งซึ่งอยู่ห่างจากนิวเคลียสในทุก

ทิศทางเท่ากันหมด เมื่ออิเล็กตรอนมีระดับพลังงานสูงขึ้น กลุ่มหมอกอิเล็กตรอนจะมีรูปร่างแบบอื่นที่ไม่ใช่ทรงกลม

ประเด็นสำคัญที่จะได้จากการศึกษากลศาสตร์ควอนตัมสำหรับอะตอมที่มีอิเล็กตรอนมากกว่า 1 ตัวจากสมการของชเรอดิงเงอร์ คือ การมีเลขควอนตัม (quantum number) โดยระดับพลังงานของอิเล็กตรอนตรงกับทฤษฎีอะตอมของโบร์ ซึ่งเขียนแทนด้วยสมการ

$$E_n = -\frac{1}{2} \frac{mk^2 e^4}{\hbar^2} \left( \frac{1}{n^2} \right)$$

แนวคิดที่ได้รับจากการศึกษากลศาสตร์ควอนตัม สามารถอธิบายสเปกตรัมของไฮโดรเจนได้เช่นเดียวกับทฤษฎีอะตอมของโบร์และยังสามารถอธิบายได้ว่า เมื่ออะตอมอยู่ภายใต้อิทธิพลของสนามแม่เหล็กนั้น สเปกตรัมหนึ่งเส้นแยกออกเป็นหลายเส้นได้อย่างไร ส่วนอะตอมที่มีอิเล็กตรอนหลายตัวนั้น สมการชเรอดิงเงอร์จะซับซ้อนมากซึ่งจะได้ศึกษาในระดับมหาวิทยาลัยต่อไป การจัดตัวของอิเล็กตรอนในอะตอมยังสามารถอธิบายปรากฏการณ์ต่างๆ เช่น สเปกตรัมของอะตอมที่มีเส้นย่อยแยกออกจากเส้นใหญ่ และยังสามารถบอกได้อีกว่าชั้นระดับพลังงานชั้นใหญ่ที่  $n$  มีเลขควอนตัมเป็น 1, 2, 3, 4, ... มีชื่อเรียกเป็นชั้น K, L, M, N, ... ในแต่ละชั้นมีอิเล็กตรอนได้ไม่เกิน  $2n^2$  ตัว จึงมีได้ไม่เกิน 2, 8, 18, 32, ... ตามลำดับ

นอกจากนั้นกลศาสตร์ควอนตัมยังช่วยให้ได้รับความสำเร็จในการศึกษาสมบัติของผลึก หรือวัตถุที่เกิดจากการเรียงตัวของอะตอมอย่างมีระเบียบ อาจบอกได้ว่าผลึกใดจะเป็นตัวนำไฟฟ้า ฉนวน หรือสารกึ่งตัวนำ ความรู้ทางกลศาสตร์ควอนตัมช่วยให้เกิดพัฒนาการด้านไมโครอิเล็กทรอนิกส์ เช่น ทรานซิสเตอร์ ไอซี และอุปกรณ์ทางไฟฟ้าอื่นๆ และยังใช้ในการศึกษานิวเคลียสอีกด้วย กลศาสตร์ควอนตัมจึงเป็นหัวใจของฟิสิกส์ในยุคปัจจุบัน

## 2.3 หลักสำคัญของการเรียนการสอนโดยใช้บทเรียนสำเร็จรูป

ลัดดา ศุขปรีดี (2523) กล่าวถึงหลักสำคัญในการเรียนการสอนโดยใช้บทเรียนสำเร็จรูปไว้ดังนี้

1. เปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้มีส่วนร่วมในกิจกรรมการเรียนการสอนอย่างกระฉับกระเฉง (Active Participation) คือ ให้ผู้เรียนได้เรียนรู้ด้วยการลงมือกระทำกิจกรรมด้วยตนเองได้ตอบคำถาม ได้มีการตอบสนองหรือมีปฏิกิริยาโต้ตอบกับคำถาม ช่วยให้ผู้เรียนมีความกระตือรือร้นไม่เบื่อหน่ายและไม่เฉื่อยชา
2. ให้ผู้เรียนได้รู้ผลการเรียนของตนเองในทันที (Feed Back) คือ ผู้เรียนรู้ถึงคำตอบที่ถูกต้อง เป็นการเสริมแรงให้ผู้เรียนอยากทำกิจกรรมต่อไป และหาก



ได้รับการเสริมแรงในทันทีอย่างสม่ำเสมอก็จะทำให้ผู้เรียนเรียนได้ดีที่สุด การบอกคำตอบให้กับผู้เรียน ไม่จำเป็นต้องให้ครูเป็นผู้บอกเสมอไป ผู้เรียนสามารถตรวจคำตอบด้วยตนเองจากบทเรียนที่จัดไว้ให้ เช่น การทำโจทย์เลขคณิต ถ้านักเรียนตรวจคำตอบของตนเองได้จากบทเรียนที่จัดไว้ให้ว่าเขาทำถูกหรือผิด คำตอบในบทเรียนจะเป็นข้อมูลย้อนกลับให้ผู้เรียนเกิดความพอใจ และเป็นการเสริมแรงให้เขาทำโจทย์ต่อไป เป็นต้น อย่างไรก็ตามข้อมูลย้อนกลับอาจไม่ใช่แรงกระตุ้นให้ผู้เรียนกระทำกิจกรรมซ้ำอีกเสมอไป เช่นกรณีที่ผู้เรียนทำโจทย์ผิด เขาอาจท้อแท้ใจและไม่อยากทำเลขอีก ดังนั้นแรงกระตุ้นหรือแรงจูงใจจึงมีทั้งทางบวกและทางลบ ในกรณีเช่นนี้ จำเป็นที่ผู้เรียนจะต้องได้รับคำชี้แจงและคำแนะนำแก้ไขทันทีเพื่อให้เขาเรียนรู้ได้ดีขึ้น และฝึกทำซ้ำจนเกิดความชำนาญเพื่อจูงใจให้เขาอยากเรียนต่อไป

3. ให้ผู้เรียนรับประสบการณ์ความสำเร็จเป็นระยะ ๆ (Successful Experiences) ตามหลักจิตวิทยาการเรียนรู้ที่แสดงให้เห็นว่า การเสริมแรงจะต้องกระทำอย่างฉับพลันทันทีซึ่งจะเป็นผลดีต่อการเรียนรู้หากชักช้าออกไปตัวเสริมแรงจะลดประสิทธิภาพลงไป ดังนั้น การรู้ว่าคำตอบถูกหรือความสามารถที่ทำการกิจกรรมได้สำเร็จในขั้นตอนหนึ่งเป็นการเสริมแรงให้ผู้เรียนเรียนรู้ในลำดับขั้นตอนอื่น ๆ ต่อไป เช่น การนับเลข 1-1,000 หากผู้เรียนนับ 1-10 ได้ ประสบการณ์แห่งความสำเร็จนี้จะเสริมแรงให้เขานับ 1-100 ได้ และจะเป็นการเสริมแรงให้นับเลข 1-1,000 ได้ในที่สุด

4. การจัดลำดับเนื้อหาและประสบการณ์เป็นขั้นตอนย่อย ๆ ต่อเนื่องกัน (Gradual Approximation) คือ จัดประสบการณ์การเรียนรู้ไปที่ละขั้นตอนย่อย ๆ เพื่อนำไปสู่การบรรลุเป้าหมายสุดท้าย เช่น เริ่มจากเรื่องง่าย ๆ หรือสิ่งที่รู้แล้วเพื่อสร้างจูงใจเริ่มแรกเสียก่อน แล้วจึงเพิ่มความยากขึ้นไป การเรียนรู้จากสิ่งง่าย ๆ ที่คล้ายคลึงกับประสบการณ์เดิมไปสู่สิ่งใหม่ตามขั้นตอนที่ละน้อยจะช่วยให้ผู้เรียนเกิดความรู้สึกว่าบทเรียนนั้นไม่ยากเกินไปและไม่เบื่อหน่ายต่อการเรียนเพราะความสำเร็จในการเรียนแต่ละขั้นตอนจะเป็นแรงจูงใจให้ผู้เรียนเรียนขั้นต่อไป โดยไม่รู้สึกเหน็ดเหนื่อยและเบื่อหน่าย ดังนั้น บทเรียนสำเร็จรูปจะต้องจัดลำดับเนื้อหาให้เป็นขั้นตอน เริ่มจากสิ่งง่ายแล้วค่อย ๆ เพิ่มความยากขึ้นตามลำดับ

**2.4 ทฤษฎีที่เป็นพื้นฐานของบทเรียนสำเร็จรูป** <[http://www.webobjects-design.com/ISD/index.php?option=com\\_content&task=view&id=41&Itemid=2](http://www.webobjects-design.com/ISD/index.php?option=com_content&task=view&id=41&Itemid=2)  
(9 พฤศจิกายน 2549)>

ในการสร้างบทเรียนสำเร็จรูปนั้น ได้นำเอาทฤษฎีที่เป็นพื้นฐานของบทเรียนสำเร็จรูปมาประยุกต์ใช้เป็นหลักในการสร้าง ดังนี้

## 1. ทฤษฎีความสัมพันธ์เชื่อมโยงระหว่างสิ่งเร้าและการตอบสนอง (connectionism theory) ของธอร์นไดค์ (Edward I. Thorndike)

ธอร์นไดค์ เป็นผู้ให้กำเนิดทฤษฎีแห่งการเรียนรู้ที่มีชื่อว่า ทฤษฎีสัมพันธ์เชื่อมโยง (connectionism theory) ซึ่งทฤษฎีนี้ได้ย้ำในเรื่องการฝึกหัดหรือการทำซ้ำและให้ความสำคัญของการให้รางวัลหรือการลงโทษ ความสำเร็จหรือความผิดหวังและความพอใจหรือความไม่พอใจแก่ผู้เรียนอย่างตัดเทียมกัน

ทฤษฎีสัมพันธ์เชื่อมโยงของธอร์นไดค์เน้นที่ความสัมพันธ์เชื่อมโยงระหว่างสิ่งเร้า (stimulus) กับการตอบสนอง (response) เขาเชื่อว่า การเรียนรู้จะเกิดขึ้นได้ด้วยการที่มนุษย์หรือสัตว์ได้เลือกเอาปฏิกิริยาตอบสนองที่ถูกต้องนั้นมาเชื่อมต่อ (connect) เข้ากับสิ่งเร้าอย่างเหมาะสมหรือการเรียนรู้จะเกิดขึ้นได้ก็โดยการสร้างสิ่งเชื่อมโยง (bond) ระหว่างสิ่งเร้ากับการตอบสนองให้เกิดขึ้น ธอร์นไดค์นำเสนอกฎการเรียนรู้ (law of learning) ดังนี้

1.1 กฎแห่งความพร้อม (law of readiness) หมายถึง สภาพความพร้อมหรือความมีวุฒิภาวะของผู้เรียนทั้งทางร่างกาย อวัยวะต่างๆ ในการเรียนรู้และจิตใจรวมทั้งพื้นฐานประสบการณ์เดิมสภาพความพร้อมของ หู ตา ประสาท สมอง และกล้ามเนื้อ ประสบการณ์เดิมที่เชื่อมโยงกับความรู้ใหม่หรือสิ่งใหม่ ตลอดจนความสนใจความเข้าใจต่อสิ่งที่เรียน ถ้าผู้เรียนมีความพร้อมตามองค์ประกอบดังกล่าวก็จะทำให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ได้

1.2 กฎแห่งการฝึกหัด (law of exercise) หมายถึง การที่ผู้เรียนได้ฝึกหัดหรือกระทำซ้ำๆ บ่อยๆ ย่อมจะทำให้เกิดความสมบูรณ์ถูกต้อง กฎนี้เป็นการเน้นความมั่นคงระหว่างการเรียนรู้และการตอบสนองที่ถูกต้องย่อมนำมาซึ่งความสมบูรณ์ ซึ่งกฎแห่งการฝึกหัดแบ่งออกเป็น

1.2.1 กฎแห่งการใช้ (law of use) หมายถึง การฝึกฝน การตอบสนองอย่างใดอย่างหนึ่งอยู่เสมอ ย่อมทำให้เกิดพันธะที่แน่นแฟ้นระหว่างสิ่งเร้ากับการตอบสนอง เมื่อบุคคลเกิดการเรียนรู้แล้วได้นำเอาสิ่งที่ได้เรียนรู้ไปใช้อยู่เสมอ ก็จะทำให้เกิดการเรียนรู้มั่นคงถาวรขึ้น หรืออาจกล่าวได้ว่าเมื่อได้เรียนรู้สิ่งใดแล้วได้นำไปใช้เป็นประจำ ก็จะทำให้ความรู้นั้นคงทนและไม่ลืม

1.2.2 กฎแห่งการไม่ใช้ (law of disuse) หมายถึง การไม่ได้ฝึกฝนหรือไม่ได้ใช้ไม่ทำบ่อย ๆ ย่อมทำให้ความมั่นคงระหว่างสิ่งเร้ากับการตอบสนองอ่อนกำลังลงหรือลดความเข้มลงเมื่อบุคคลได้เกิดการเรียนรู้แล้วแต่ไม่ได้นำความรู้ไปใช้หรือไม่เคยใช้ย่อมทำให้การทำการกิจกรรมนั้นไม่ดีเท่าที่ควรหรืออาจทำให้ความรู้นั้นลืมนั่นเอง

1.3 กฎแห่งผล (law of effect) กฎนี้เป็นผลที่ทำให้เกิดความพอใจ กล่าวคือ เมื่ออินทรีย์ได้รับความพอใจ จะทำให้พันธะหรือสิ่งเชื่อมโยงระหว่างสิ่งเร้ากับการ

ตอบสนองมีความเข้มแข็งมั่นคง ในทางกลับกันหากอินทรีย์ได้รับความไม่พอใจจะทำให้พันธะหรือสิ่งเชื่อมโยงระหว่างสิ่งเร้ากับการตอบสนองอ่อนกำลัง หรืออาจกล่าวได้ว่า หากอินทรีย์ได้รับความพอใจจากผลของการกระทำกิจกรรม ก็จะเกิดผลดีกับการเรียนรู้ทำให้อินทรีย์อยากเรียนรู้เพิ่มมากขึ้นอีก และในทางตรงกันข้ามหากอินทรีย์ได้รับผลที่ไม่พอใจ ก็จะทำให้ไม่อยากเรียนรู้หรือเบื่อหน่ายและเป็นผลเสียต่อการเรียนรู้

นอกจากกฎการเรียนรู้ที่สำคัญดังกล่าวมาแล้วนั้น ยังมีกฎที่สำคัญและเกี่ยวข้องกับ การเรียนรู้อีก 5 กฎย่อยที่ผู้เรียนสามารถจะเรียนรู้ได้ดียิ่งขึ้น ถ้ามีสิ่งต่างๆ ดังต่อไปนี้

- 1) กฎการตอบสนองหลายรูปแบบ (law of multiple response) เมื่ออินทรีย์เผชิญกับปัญหา ก็จะแสดงปฏิกิริยาตอบสนองในหลายรูปแบบต่างๆ กันเพื่อแก้ปัญหา จนกว่าจะพบรูปแบบที่แก้ปัญหาได้ ปฏิกิริยาตอบสนองจึงจะลดลง และอินทรีย์ต้องเลือกรูปแบบที่เหมาะสมหรือที่ดีที่สุดที่แก้ปัญหาได้ในครั้งนั้นไว้สำหรับแก้ปัญหาในครั้งต่อไป
- 2) กฎการตั้งจุดมุ่งหมาย (law of set of attitude) เมื่ออินทรีย์มีจุดมุ่งหมายในสิ่งที่ทำ ก็ทำให้เกิดพฤติกรรมนำไปสู่การเรียนรู้
- 3) กฎการเลือกตอบสนอง (law of partial activity) เมื่อเผชิญกับปัญหา หรือสถานการณ์ใหม่อินทรีย์จะเริ่มตอบสนองต่อสิ่งเร้าที่คิดว่าจะแก้ปัญหาให้ดีที่สุดก่อน
- 4) กฎการนำความรู้เดิมไปใช้ (law of assimilation) เมื่อเผชิญกับปัญหา หรือสถานการณ์ใหม่ซึ่งยังไม่ทราบวิธีแก้ปัญหา อินทรีย์ก็มาตอบสนองต่อสถานการณ์ใหม่ ด้วยการนำความรู้และประสบการณ์เก่ามาใช้
- 5) กฎการย้ายการตอบสนองไปสู่อีกสิ่งเร้าหนึ่ง (law of association shifting) หมายถึงการตอบสนองอาจจะย้ายจากสิ่งเร้าหนึ่งไปสัมพันธ์กับสิ่งเร้าหนึ่งก็ได้ด้วยการตอบสนองยังเหมือนเดิม

การนำกฎการเรียนรู้ไปใช้ในการเรียนการสอน ส่งผลต่อผู้เรียน คือ

- 1) ส่งเสริมให้ผู้เรียนเรียนโดยการลองผิดลองถูก เพราะในเรื่องการเรียนรู้ ผู้เรียนมีแบบของการเรียนรู้ได้หลายแบบ และแบบหนึ่งก็คือเรียนโดยการลองผิดลองถูก หรือการมีประสบการณ์จริงด้วยตนเองและจำทำให้ผู้เรียนเกิดความพอใจ ความสำเร็จ ความเชื่อมั่น และต้องการเรียนรู้ในโอกาสต่อไป นอกจากนั้นผู้เรียนก็ได้เกิดการเรียนรู้และตระหนักถึงความแตกต่างของความสำเร็จหรือความล้มเหลวและรู้คุณค่าของสิ่งที่ตนได้สัมผัส เป็นการทำให้ผู้เรียนได้ปรับตัวใหม่ในทางที่เหมาะสมต่อไป
- 2) การนำกฎแห่งความพร้อมมาใช้ หมายถึง การเรียนรู้จะมีประสิทธิภาพสูงเมื่อผู้เรียนมีความพร้อม ฉะนั้นจึงควรส่งเสริมการจัดสถานการณ์ให้ผู้เรียนมีความพร้อมทั้งสภาพกาย จิตใจ และแรงจูงใจของผู้เรียนเป็นต้น

3) การนำกฎการฝึกหัดมาใช้ ผู้สอนไม่ควรเน้นการสอนเพียงเพื่อรู้อย่างเดียวแต่การสอนให้ตระหนักถึงคุณค่าความสำคัญและประโยชน์ที่ได้จากการเรียนรู้นั้นย่อมสำคัญกว่าการที่จะสอน และให้ผู้เรียนนำความรู้ไปใช้ได้ ก็จะต้องให้ผู้เรียนเกิดความเข้าใจอย่างเด่นชัดและการนำไปใช้บ่อย ๆ ก็ทำให้ผู้เรียนเกิดความมั่นคงแน่นแฟ้นในสิ่งที่เรียน ความรู้คงทนถาวร (อารี พันธุ์มณี. 2538 : 123-129)

## 2. ทฤษฎีการวางเงื่อนไขแบบการกระทำของสกินเนอร์ (operant conditioning theory)

สกินเนอร์ (Burrhus. F. Skinner.) ผู้คิดทฤษฎีการวางเงื่อนไขแบบการกระทำขึ้น เป็นนักการศึกษาและเป็นนักจิตวิทยาที่มีชื่อเสียงชาวอเมริกัน ได้ศึกษาค้นคว้าและทดลอง ทฤษฎีจนเป็นที่ยอมรับอย่างกว้างขวาง ในปี พ.ศ. 2493 สกินเนอร์ได้สร้างเครื่องมือช่วยสอน ที่เรียกว่า บทเรียนสำเร็จรูปหรือบทเรียนโปรแกรมขึ้นเพื่อช่วยปรับปรุงแบบการเรียน การสอนในอเมริกา เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพทั้งด้านตัวครูผู้สอนและระบบการเรียนการสอนได้ เป็นผลสำเร็จดียิ่ง หลักการเรียนรู้ของทฤษฎีการวางเงื่อนไขแบบการกระทำของสกินเนอร์ เน้นการกระทำของผู้ที่เรียนมากกว่าสิ่งเร้าที่ผู้สอนกำหนด กล่าวคือ เมื่อต้องการให้อินทรีย์ เกิดการเรียนรู้จากสิ่งเร้าใดสิ่งเร้าหนึ่ง เราจะให้ผู้เรียนรู้เลือกแสดงพฤติกรรมเองโดยไม่ บังคับหรือบอกแนวทางการเรียนรู้ เมื่อผู้เรียนแสดงพฤติกรรมการเรียนรู้แล้วจึงเสริมแรง พฤติกรรมนั้น ๆ ทันที เพื่อให้เรียนรู้ว่าพฤติกรรมที่แสดงออกนั้นเป็นพฤติกรรมการเรียนรู้ หรือกล่าวอีกอย่างหนึ่งทฤษฎีการเรียนรู้การวางเงื่อนไขแบบอาการกระทำนั้น พฤติกรรม หรือการตอบสนองจะขึ้นอยู่กับการเสริมแรง (Reinforcement) ส่วนบทเรียนโปรแกรม (program learning) ใช้หลักของสกินเนอร์ที่จะให้รางวัลทุกครั้งเมื่อสัตว์ที่นำมาทดลอง ตอบสนองตามที่เรต้องการ จากสิ่งนี้ได้มีผลทำให้เกิดบทเรียนสำเร็จรูปหรือบทเรียน โปรแกรมและเครื่องช่วยสอน (teaching machine) ขึ้น ซึ่งเน้นให้ผู้เรียนเรียนรู้ด้วยตนเอง โดยมีคำตอบที่ถูกต้องไว้ให้ บทเรียนโปรแกรมและเครื่องช่วยสอนต่างก็ยึดหลักดังกล่าวและ พยายามจัดแบ่งเนื้อหาวิชาออกเป็นส่วนย่อยๆ จัดลำดับให้เป็นเหตุเป็นผล เริ่มจากง่ายไป หายาก ผู้เรียนจะเรียนได้ด้วยตนเองและเมื่อเรียนสำเร็จแต่ละขั้นผู้เรียนก็จะได้รับการ เสริมแรงทันที ตัวเสริมแรงในบทเรียนโปรแกรมนั้น ได้แก่ ความรู้ในเนื้อหาวิชานั้นเอง การที่ผู้เรียนตอบคำถามในแต่ละชุดได้ถูกต้องก็แสดงว่าผู้เรียนได้รับการเสริมแรง ส่งผลให้ ผู้เรียนพยายามที่จะเรียนให้มีความรู้มาก ๆ ยิ่งขึ้นต่อไป (อารี พันธุ์มณี. 2538 : 112-118)

สกินเนอร์ มีความเห็นเกี่ยวกับการศึกษาในปัจจุบันว่า การศึกษาในปัจจุบันไม่เพียงแต่จะไม่ค่อยมีประสิทธิภาพเท่านั้น แต่ยังมีอันตรายอีกด้วย ทั้งนี้เพราะความพยายามที่จะปรับปรุงการศึกษาโดยละเลยสิ่งที่สำคัญคือ “วิธีการ” บุคคลที่ถูกตำหนิมากที่สุดคือนักจิตวิทยาการศึกษาซึ่งสนใจแต่ “ผลการเรียน” ไม่สนใจ “วิธีการ” ที่จะช่วยให้การเรียนได้ผลดี นอกจากนี้เขายังมีความเห็นอีกว่า การศึกษาตั้งแต่อดีตถึงปัจจุบันมีลักษณะดังนี้

1. ครูไม่สามารถให้การเสริมแรงได้ทันที ต้องใช้เวลาว่างมาก กว่าที่จะตรวจงานของผู้เรียนแต่ละคนให้เสร็จ และเมื่อเสร็จแล้วก็ไม่สามารถทราบผลได้ทันที
2. เนื้อหาต่าง ๆ ที่นำมาสอน ขาดการจัดชั้นตอนอย่างมีระบบระเบียบ บางครั้งยากเกินไป การให้แบบฝึกหัดไม่มีความสัมพันธ์กัน
3. การให้การเสริมแรงไม่สม่ำเสมอ ไม่ทั่วถึง เพราะมีผู้เรียนจำนวนมาก ข้อบกพร่องต่าง ๆ ดังกล่าวแก้ไขได้ด้วยการใช้บทเรียนสำเร็จรูป ซึ่งสามารถจะให้การเสริมแรงได้ทันที ผู้เรียนสามารถทำงานได้ตามลำพัง พ้นจากการถูกดูถูกว่าจากครู ไม่ต้องฟังคำวิพากษ์วิจารณ์หรือเยาะเย้ยจากเพื่อนๆ ซึ่งทำให้เกิดความสบายใจ ก่อให้เกิดความรู้สึกที่เป็นอิสระ นอกจากนี้ยังทำให้ผู้เรียนเกิดการพึ่งตนเอง และมีความเชื่อมั่นในตนเองมากขึ้น

### 3. หลักการสอนของ โรเบิร์ต เอ็ม กาย (Robert M Gagne)

ผู้วิจัยได้ยึดหลักการสอนของกาย มากำหนดวิธีการนำเสนอเนื้อหา 9 ชั้น ดังนี้ (สุกรี รอดโพธิ์ทอง, 2535 : 42-48)

- 3.1 การเร้าความสนใจ
- 3.2 บอกวัตถุประสงค์แก่ผู้เรียน เพื่อให้ผู้เรียนได้ทราบถึงจุดมุ่งหมายของการเรียน
- 3.3 กระตุ้นให้ผู้เรียนระลึกถึงความรู้พื้นฐานก่อนเรียน
- 3.4 เสนอบทเรียน โดยมีภาพ คำบรรยาย และเสียงประกอบคำบรรยาย
- 3.5 ให้ความช่วยเหลือเพื่ออำนวยความสะดวกแก่ผู้เรียน
- 3.6 กระตุ้นการตอบสนองโดยมีแบบฝึกหัดและแบบทดสอบ เป็นกิจกรรม
- 3.7 ให้ข้อมูลย้อนกลับ
- 3.8 ประเมินผล โดยดูจากผลสัมฤทธิ์ทางการสอบ
- 3.9 สรุปบทเรียนเพื่อให้ผู้เรียนเกิดความจำและถ้อยโยงการเรียนรู้

จากความหมาย หลักการสำคัญ ทฤษฎีจิตวิทยา และกฎของการเรียนรู้ที่เกี่ยวข้อง สามารถกำหนดลักษณะสำคัญของบทเรียนสำเร็จรูปได้ดังนี้คือ

1. เป็นความรู้เรื่องย่อๆ ซึ่งเรียงลำดับไว้สำหรับสร้างความสนใจของผู้เรียน
2. ผู้เรียนตอบข้อความรู้แต่ละข้อความที่กำหนด
3. การตอบของนักเรียนได้รับการเสริมแรงโดยให้ทราบผลทันที
4. ผู้เรียนค่อยๆ เรียนไปที่ละขั้นตามลำดับของบทเรียน
5. ผู้เรียนตอบข้อย่อยได้ถูกต้องเป็นส่วนมาก
6. ผู้เรียนจะต้องก้าวจากสิ่งที่รู้แล้วไปสู่ความรู้ที่จัดไว้

### ข้อดีและข้อจำกัดของบทเรียนสำเร็จรูป

ข้อดีของบทเรียนสำเร็จรูป (อ้างอิงจาก ธานี สมบูรณ์บุรณะ และวิโรจน์ สารรัตน์, 2523)

1. เปิดโอกาสให้นักเรียนได้เรียนด้วยตนเองตามอัตราที่ต้องการ โดยดำเนินการเรียนไปตามความสามารถของตนเอง คล้ายกับนักเรียนได้มีโอกาสเรียนกับครูตัวต่อตัว
2. สอนเป็นขั้นย่อยๆ ตามการตอบสนองของผู้เรียน ขนาดของขั้นคือเนื้อหาวิชา
3. การเรียนแบบนี้ทำให้ผู้เรียนมีส่วนร่วมในการมีปฏิริยาโต้ตอบกัน
4. ผู้เรียนได้รับทราบผลการเรียนรู้อันทันทีที่กำหนดเพียงใด
5. ช่วยกระตุ้นให้ผู้เรียนอยากเรียน เพราะเป็นการทำให้ตอบโดยที่แม้ตอบผิดแล้วก็สามารถแก้ไขความเข้าใจผิดได้ทันที
6. สนองความสามารถและความแตกต่างระหว่างบุคคล
7. ช่วยแก้ปัญหาวิธีการศึกษาในปัจจุบันที่นิยมการทำงานเป็นกลุ่มและสนใจเนื้อหาวิชาน้อยลง
8. ช่วยแก้ปัญหาการขาดแคลนครู
9. เป็นการทุ่นเวลาในการสอนบทเรียนบทหนึ่ง ๆ เพราะผลการวิจัยหลายฉบับพบว่า สามารถสอนเนื้อหาได้มากเท่า ๆ กับวิธีสอนอย่างอื่นโดยใช้เวลาน้อยกว่า
10. เป็นเครื่องมือช่วยให้ครูมองเห็นความแตกต่างของนักเรียนมากขึ้น
11. ช่วยให้ครูทำงานน้อยลงในการสอนข้อเท็จจริงต่างๆ ครูมีโอกาสดูแลใช้เวลาเหล่านั้นในการเตรียมบทเรียนอื่นที่ยุ่งยากซึ่งให้ก้าวหน้ายิ่งขึ้นไปอีก
12. สามารถใช้เป็นเครื่องมือสำหรับพัฒนา “เด็กเก่ง” ให้เก่งยิ่ง ๆ ขึ้น ขณะเดียวกันก็สามารถใช้เป็นเครื่องมือสำหรับพัฒนา “เด็กอ่อน” ให้มีความก้าวหน้าทันเพื่อนได้ โดยการทำบทเรียนสำเร็จรูปให้เหมาะสมกับเด็กแต่ละประเภทนั้น

ข้อจำกัดของบทเรียนโปรแกรม <<http://vdo.kku.ac.th/mediacenter/media-center-uploads/libs/html/1244/old1-8.html> (9 พฤศจิกายน 2549)>

1. ไม่อาจสอนแทนครูได้โดยสิ้นเชิง เพราะนักเรียนยังต้องการคำแนะนำจากครูอยู่ แบบเรียนสำเร็จรูปจึงเป็นเพียงเครื่องมือช่วยสอนของครูเท่านั้น
2. เนื้อหาวิชาบางวิชาที่ต้องการตอบสนองในแง่ความคิด เช่น เรียงความ จะใช้การสอนแบบนี้ไม่ได้
3. ปัญหาเรื่องความแตกต่างระหว่างบุคคล เช่น ผู้ที่เรียนเก่งอาจเรียนจบก่อนไม่มีอะไรทำอีกทำให้เบื่อหน่ายได้ ดังนั้นครูผู้สอนจึงต้องคอยเพิ่มงานพิเศษให้เขาด้วย
4. บทเรียนโปรแกรมเหมาะสำหรับเนื้อหาที่เป็นความจริงหรือความรู้พื้นฐานมากกว่าเนื้อหาที่ต้องการความคิดเห็นและความคิดริเริ่มหรือมีความลึกซึ้งมาก ๆ
5. มีส่วนทำให้ผู้เรียนขาดทักษะในการเขียนหนังสือ เพราะผู้เรียนจะเขียนเฉพาะคำตอบเป็นบางคำเท่านั้น
6. ผู้เรียนขาดการสังคมติดต่อซึ่งกันและกัน
7. ภาษาที่ใช้อาจเป็นปัญหา สำหรับในบางท้องถิ่น
8. มีส่วนทำให้เด็กที่เรียนเก่งเบื่อหน่าย โดยเฉพาะบทเรียนโปรแกรมแบบเชิงเส้นบทเรียนโปรแกรมแบบสาขา เขียนให้ตีค่อนข้างยาก

## 2.5 วิธีเขียนบทเรียนสำเร็จรูป

เมื่อวิเคราะห์หลักสูตรหรือวิชาที่สอน จนกำหนดเรื่องที่จะทำเป็นบทเรียนสำเร็จรูปได้แล้ว ก็สามารถเขียนบทเรียนสำเร็จรูปขึ้นได้ โดยมีขั้นตอนการดำเนินงานดังนี้ (สุจินต์ วิศวธีรนนท์, 2533)

### 1. กำหนดจุดมุ่งหมาย (Objective)

ในการสร้างแบบเรียนสำเร็จรูป จะต้องตอบสนองความต้องการของผู้เรียน ดังนั้นการกำหนดจุดมุ่งหมายต้องกำหนดให้เหมาะสมกับความสามารถของผู้เรียน ผู้สร้างบทเรียนจะต้องพยายามแจ่มแจ้งจุดมุ่งหมายให้เป็นจุดมุ่งหมายเชิงพฤติกรรม (Behavior Objectives) ซึ่งประกอบด้วยลักษณะต่าง ๆ ดังนี้

- 1.1 ผู้เรียนเป็นผู้กระทำหรือแสดงพฤติกรรม
- 1.2 พฤติกรรมของผู้เรียนที่คาดหวังให้แสดงออกมา ซึ่งเป็นพฤติกรรมที่สามารถสังเกตได้

1.3 สถานการณ์ที่ตั้งขึ้นเพื่อให้ผู้เรียนแสดงออกมา

1.4 เกณฑ์ของระดับความสามารถของพฤติกรรมที่ผู้เรียนแสดงออกมา

## 2. กำหนดเนื้อหา

เนื้อหา กิจกรรม และแบบฝึกหัดที่จะเสนอในแบบเรียนสำเร็จรูป ต้องให้มีความสัมพันธ์สอดคล้องกันและกันและประการสำคัญต้องให้ผู้เรียนเกิดการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมการเรียนรู้ตามจุดมุ่งหมายเชิงพฤติกรรมที่กำหนดไว้ให้ได้ ซึ่งในการกำหนดนั้นมีข้อควรคำนึงถึงบางประการ ดังนี้

### 2.1 โครงสร้างและระดับของเนื้อหาจำแนกเป็น 4 ระดับ

#### 2.1.1 เนื้อหาที่แสดงถึงข้อเท็จจริงและกระบวนการเฉพาะ

(Specific Facts and Processes) เช่น เรื่องเกี่ยวกับอวัยวะต่างๆ ของร่างกาย ระบบการย่อยอาหาร สูตรต่างๆ ข้อมูลทางภูมิศาสตร์ ข้อมูลทางประวัติศาสตร์ เป็นต้น นับเป็นข้อมูลระดับต้น เป็นระดับที่ง่ายที่สุด ต้องอาศัยให้ผู้เรียนได้จดจำเนื้อหาให้มากที่สุด

#### 2.1.2 เนื้อหาที่เป็นความคิดและหลักการเบื้องต้น (Basic Idea)

เป็นความคิดทั่วไป เช่น ความคิดเกี่ยวกับความสมดุลทางธรรมชาติ ความสัมพันธ์ระหว่างสภาพภูมิศาสตร์ ประวัติศาสตร์ และวรรณคดี ความคิดเกี่ยวกับหลักการบริหารและมนุษยสัมพันธ์ เมื่อผู้เรียนเกิดความเข้าใจ มองเห็นความสัมพันธ์เกี่ยวกับเรื่องใดเรื่องหนึ่งแล้วจะสามารถนำความเข้าใจและหลักการดังกล่าวอธิบายเหตุการณ์หรือสถานการณ์อื่นได้

#### 2.1.3 เนื้อหาที่เป็นความคิดรวบยอด (Concepts) หมายถึงความ

เข้าใจของแต่ละบุคคลในลักษณะร่วมของสิ่งต่าง ๆ ทั้งที่เป็นรูปธรรมและนามธรรม และสามารถแสดงความเข้าใจต่อสิ่งนั้นออกมาอย่างถูกต้อง เป็นเนื้อหาที่เป็นความคิดความเข้าใจกับสิ่งใดสิ่งหนึ่งลึกซึ้งมากกว่าสองระดับที่กล่าวมา ต้องรู้อย่างถ่องแท้ รู้โครงสร้างและส่วนประกอบทั้งหมดของสิ่งนั้น รู้หลักการและแก่นแท้ของสิ่งนั้น สิ่งที่สำคัญคือต้องรู้ประเด็น รู้ความสำคัญ รู้ประโยชน์ นำความรู้ไปใช้ประโยชน์ได้

#### 2.1.4 เนื้อหาที่เป็นระบบความคิด (Thought System) เป็นเนื้อหา

ระดับสุดท้าย หมายถึง ระบบความคิดและวิธีการที่จะแสวงหาความรู้ในศาสตร์สาขาต่าง ๆ ด้วยตนเอง โดยอาศัยเนื้อหาความรู้ทั้งสามระดับมาเป็นพื้นฐานที่จะนำไปสู่ระบบความคิด

### 2.2 เกณฑ์ในการเลือกเนื้อหา มีดังนี้

#### 2.2.1 ความเชื่อถือได้และความสัมพันธ์

#### 2.2.2 ความสอดคล้องกับความเป็นจริงในสังคม

#### 2.2.3 ความสมดุลทั้งในความกว้างและความลึก

#### 2.2.4 สมองความต้องการของจุดหมายในหลายๆ ด้าน

#### 2.2.5 สอดคล้องกับประสบการณ์ของผู้เรียน



2.2.6 สอดคล้องกับความต้องการและความสนใจของผู้เรียน

2.3 การจัดลำดับเนื้อหา มีข้อควรคำนึงถึงดังนี้

2.3.1 การจัดเนื้อหาที่สับสนน้อยไปสู่เนื้อหาที่สับสนมาก

2.3.2 จัดตามลำดับก่อนหลังของเนื้อหา เช่น จัดเนื้อหาภาคทฤษฎีก่อน

ภาคปฏิบัติ เป็นต้น

2.3.3 จัดจากส่วนรวมไปหาส่วนย่อย เช่น เรื่องโลก ทวีป ประเทศ เมือง

เป็นต้น

2.3.4 จัดตามลำดับเวลา เช่น วิชาประวัติศาสตร์แบ่งตามยุคต่าง ๆ เป็นต้น

2.4 การสะสมความรู้ (Cumulative Learning) เป็นการจัดเนื้อหาให้สะสมสิ่งที่เรียนรู้ไปแล้ว ทั้งเพื่อเป็นการเพิ่มพูนความรู้ให้เกิดขึ้นในตัวผู้เรียน การเพิ่มความรู้นั้นจะเป็นขั้นเป็นระยะ เป็นตอน เช่น การเรียนเรื่องมนุษย์สัมพันธ์ ก่อนอื่นต้องเรียนเกี่ยวกับตน ครอบครัว ชุมชน ประเทศ และนานาชาติ มีการสะสมเนื้อหาความรู้ให้แม่นยำ ซึ่งต้องจัดจากง่ายไปหายาก ทักษะ ความรู้ เจตคติ จะได้สะสมกันไปเรื่อย ๆ ผู้เรียนวิเคราะห์เป็น เกิดความเข้าใจ เกิดความรู้สึก และค่านิยม

2.4.1 จัดเนื้อหาให้เกิดการผสมผสาน (Integration) โดยการจัดเนื้อหาให้มีความสัมพันธ์เกี่ยวเนื่องซึ่งกันและกัน ไม่ก่อให้เกิดความรู้สึกว่า เนื้อหาแยกออกเป็นส่วน ๆ นอกจากนี้ต้องให้ความสัมพันธ์กับชีวิตและสามารถนำไปใช้ได้จริงด้วย

2.4.2 กิจกรรมที่สอดแทรกเข้าไปในเนื้อหานั้น ต้องเลือกกิจกรรมที่จะทำ ให้บรรลุผลตามจุดมุ่งหมายเชิงพฤติกรรมที่กำหนดไว้ ก่อให้เกิดความพึงพอใจแก่ผู้เรียนที่จะปฏิบัติเกิดเจตคติที่ดีต่อกิจกรรมนั้นด้วย ผู้เรียนสามารถกระทำได้ ก่อให้เกิดประโยชน์หลาย ๆ ทางและควรให้สอดคล้องกับความแตกต่างระหว่างบุคคลด้วย นอกจากนี้การจัดทำแบบฝึกหัดจะต้องควบคู่ไปกับการจัดทำคำตอบเฉลยเพื่อให้ทราบผลในทันที โดยอาศัยหลักจิตวิทยาการเรียนรู้ดังกล่าวข้างต้นเป็นหลัก

2.5 ลงมือเขียนบทเรียนสำเร็จรูป (Writing)

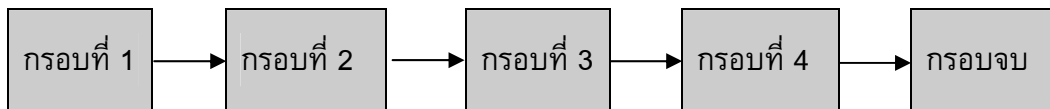
ประเภทและองค์ประกอบของบทเรียนสำเร็จรูป

<http://www.phokiri.ac.th/ftp/somrong%20%20kruang%20%20thow%20%20%2008%2050/Drive%20%20D080850/20C1%D5%A4.%2050/%E1%CE%B9%B4%D520%20C1%D5%A4%2050/%C7%D4%A8%D1%C2%E3%B9%AA%D1%E9%B9%E0%C3%D5%C2%B9/%C7%D4%A8%D1%C2%CD%B4%D5%B5/%C7%D4%A8%D1%BA%BA%B7%B7%E8%20%20,%203%20%2046.doc> (9 พฤศจิกายน 2549)>

บทเรียนสำเร็จรูปแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆคือ

บทเรียนเชิงเส้น ( Linear Program or Constructed Response Type) สกินเนอร์เป็นผู้คิดขึ้นโดยอาศัยผลการวิจัยการเรียนรู้ของสัทว์ เขาสรุปว่าการเรียนรู้ควรแบ่งเป็นขั้นย่อยๆ แต่ตอนท้ายของแต่ละขั้น ผู้เรียนจะต้องแสดงให้เห็นสิ่งที่เขาได้เรียนรู้ด้วยการตอบคำถาม ซึ่งนิยมใช้เป็นแบบถูกผิดหรือเติมคำและทราบคำตอบทันที

ลักษณะที่สำคัญของบทเรียนประเภทนี้ คือผู้เรียนจะต้องเรียนตามลำดับที่ละกรอบ ต่อเนื่องกันไปเรื่อยๆ ตั้งแต่กรอบแรกจนกรอบสุดท้าย จะข้ามกรอบใดกรอบหนึ่งไม่ได้ ดังนั้นไม่ว่าผู้เรียนจะเก่ง หรืออ่อนจะต้องเรียนทุกกรอบเหมือนกันหมด เพียงแต่ใช้ระยะเวลาในการเรียนไม่เท่ากัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสติปัญญาและความสามารถของแต่ละบุคคล มีองค์ประกอบเป็นแผนภาพดังนี้



บทเรียนสำเร็จรูปแบบเส้นตรงนี้มีเทคนิควิธีที่สามารถนำมาใช้เขียนได้ถึง 5 เทคนิควิธีด้วยกัน คือ

1. เทคนิคการเขียนกรอบแบบสร้างคำตอบ (The Constructed Response Frame Sequence) เป็นเทคนิคที่มีผู้นิยมเขียนกันมากเพราะทำให้ง่ายไม่ยุ่งยากซับซ้อน โดยจะมีการถามคำถามในลักษณะเติมคำ เขียนข้อความสั้น ๆ หรือขีดเส้นใต้พร้อมกับคำตอบให้ทราบ ผู้เรียนจะตอบคำถามโดยอาศัยความรู้ที่เรียนมาแล้วในกรอบนั้นๆ
2. เทคนิคการเขียนกรอบแบบจำแนก (The Discrimination Frame Sequence) ลักษณะโดยทั่วไปของกรอบนี้คือ คำถามเป็นแบบเลือกตอบซึ่งมีตัวเลือกทั้งหมด 6 ตัวเลือก โดย 6 ตัวเลือกนี้จะมีคำตอบที่ผิดมากกว่าคำตอบที่ถูก และประกอบด้วยกรอบพื้นฐานที่สำคัญ 3 กรอบคือ
  - 2.1 กรอบเริ่มต้น : มีการให้เนื้อหาแก่ผู้เรียน ลักษณะของเนื้อหาที่ให้จะเป็นในรูปของการให้คำจำกัดความในสิ่งต่าง ๆ และต่อจากนั้นจึงให้ผู้เรียนตอบคำถาม โดยอาศัยความรู้ที่ได้รับมาจำแนกหรือมาเลือกคำตอบที่ถูกต้องจากตัวเลือกที่ให้มาทั้งหมด 6 ตัวเลือก
  - 2.2 กรอบฝึกหัด : จะไม่มีการให้เนื้อหาแก่ผู้เรียนแต่อย่างใด แต่จะให้ผู้เรียนตอบคำถามโดยอาศัยความรู้ที่เรียนมาแล้วในกรอบเริ่มต้นมาใช้ในการตอบ
  - 2.3 กรอบเฉลย :
3. เทคนิคการเขียนกรอบแบบย้อนลำดับ (Retrogressive Chaining) การ

เขียนกรอบแบบนี้เหมาะสำหรับเนื้อหาที่เป็นลำดับขั้นตอน เพราะลักษณะการเขียนเนื้อหา อาจเป็นการย้อนลำดับขั้นตอนที่สมบูรณ์ไปหากระบวนการอันเป็นขั้นตอนของวิธีการต่าง ๆ นั้น โดยลักษณะของการเขียนกรอบจะประกอบด้วย

การสาริต : ซึ่งเป็นการเริ่มต้นของการเขียนกรอบแบบนี้ จะบอกวิธีการหรือขั้นตอนของกระบวนการต่าง ๆ ทั้งหมดตั้งแต่ต้นจนจบ โดยในการสาริตผู้เรียนไม่จำเป็นต้องตอบคำถามใด ๆ ทั้งสิ้น เพียงแต่อ่านเนื้อหาซึ่งเป็นขั้นตอนเท่านั้น ในขั้นของการสาริตอาจจะมีกรอบหลายกรอบก็ได้

การกระตุ้น : หลังจากทีสาริตกระบวนการต่าง ๆ ให้ผู้เรียนหมดแล้วต่อจากนั้นจึงค่อย ๆ ให้ผู้เรียนทำทีละน้อย ๆ โดยจะเป็นการเติมคำหรือข้อความในส่วนที่เป็นลำดับขั้นตอนสุดท้ายเสียก่อน ส่วนในกรอบถัดไปจะกระตุ้นให้ผู้เรียนทำมากยิ่งขึ้น

การปล่อยให้ทำ : เมื่อผู้เรียนถูกกระตุ้นให้ทำทีละขั้นแล้ว ในกรอบสุดท้ายจะเป็นการปล่อยให้ทำทั้งหมด โดยจะถามเฉพาะคำถามแล้วให้ผู้เรียนคิดหาคำตอบเอาเองด้วยการใช้วิธีทำตามขั้นตอนที่ได้อธิบายมาแล้วในกรอบต้น ๆ

4. เทคนิคการเขียนกรอบแบบบาบูน (BABOON Frames) ประกอบด้วยกรอบเบื้องต้น 3 กรอบคือ

4.1 กรอบเริ่มต้น : กรอบนี้เป็นการให้คำจำกัดความของข้อมูลแล้ว ให้ผู้เรียนตอบคำถาม โดยลักษณะของคำถามจะเป็นแบบเลือกตอบซึ่งมีด้วยกัน 4 ตัวเลือก

4.2 กรอบฝึกหัด : ไม่มีการให้เนื้อหาหรือความรู้แก่ผู้เรียนแต่ประการใด นอกจากจะฝึกหัดให้ผู้เรียนในสิ่งที่ได้เรียนรู้มาแล้วในกรอบเริ่มต้นเท่านั้น คำถามในกรอบนี้จะเป็นแบบเลือกตอบเช่นกัน

4.3 กรอบสรุปหรือกรอบส่งท้าย : ให้ผู้เรียนเขียนคำจำกัดความเกี่ยวกับความรู้ที่เขาได้เรียนมาแล้วทั้งหมด พร้อมทั้งยกตัวอย่างประกอบ

5. เทคนิคการเขียนกรอบแบบเชื่อมโยง (Adjunct Programming) การเขียนกรอบแบบนี้เป็นการเชื่อมโยงระหว่างตำราเรียนกับบทเรียนสำเร็จรูป โดยการเขียนจะมี 2 ลักษณะด้วยกันคือ

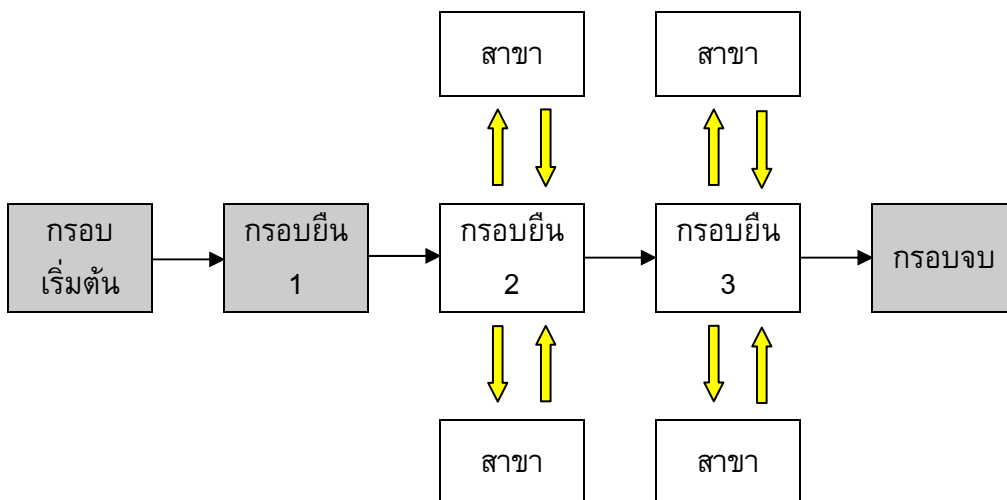
5.1 ตำราเรียนเป็นอยู่อย่างเดิม แล้วเราก็สร้างบทเรียนสำเร็จรูปเข้าไปเชื่อมกับตำรานั้น โดยที่ตัวบทเรียนจะเป็นผู้สั่งให้ผู้เรียนทำกิจกรรมต่าง ๆ เป็นต้นว่า ให้อ่านหนังสือหน้า 1-15 แล้วกลับมาตอบคำถามในบทเรียนสำเร็จรูป (บทเรียนสำเร็จรูปเป็นตัวประกอบเสริมตำรา)

5.2 นำเนื้อหาส่วนต่าง ๆ ของหนังสือออกมา แล้วนำมาเขียนเป็นบทเรียนสำเร็จรูปขึ้น โดยในการเขียนนั้นต้องใช้ภาษาของผู้เขียนบทเรียนเอง ไม่ใช่ไปยกเอาภาษาหรือคำพูดจากหนังสือมาทั้งหมด ลักษณะการเขียนเนื้อหาภายในกรอบ จะเขียน

เนื้อหาที่มีความยาวประมาณ 1-2 ตอน (Paragraph) และคำตอบจะเป็นคำถามแบบเติมความ ไม่เฉลยคำตอบให้ทราบ เมื่อผู้เรียนอ่านเนื้อหาและคำตอบเสร็จเรียบร้อยแล้ว อยากทราบว่า คำตอบของตนนั้นถูกหรือผิดแค่ไหนเพียงใดจะต้องย้อนกลับไปอ่านเนื้อหาตรงนั้นใหม่ ทำให้ ผู้เรียนทราบคำตอบที่ถูกต้องได้

บทเรียนแบบสาขา (Branching Program) นอร์แมน เอ คราวเดอร์ (Norman A Crowder) แห่งองค์การอุตสาหกรรมในสหรัฐอเมริกาเป็นผู้คิดขึ้น โดยแบ่งเนื้อหาออกเป็น ขั้นตอนย่อยๆ ที่สมบูรณ์ตามด้วยคำถามที่มีคำตอบให้เลือก เมื่อผู้เรียนเลือกคำตอบผิด จะมี คำอธิบายสาเหตุที่ผิด ผู้เรียนต้องเลือกใหม่จนกว่าจะถูก

ลักษณะสำคัญของบทเรียนสำเร็จรูปประเภทนี้ คือ ผู้เรียนไม่ต้องเรียนทุกกรอบ ตามลำดับ ผู้เรียนแต่ละคนจะเลือกเรียนตามความก้าวหน้าของตนเอง กล่าวคือ ผู้เรียนเก่ง อาจข้ามกรอบที่ตนเองมีความเข้าใจแล้ว โดยสามารถตอบคำถามได้ถูกต้อง ส่วนคนที่เรียน อ่อน หรือผู้เรียนที่ตอบคำถามผิดหรือยังไม่เข้าใจแจ่มแจ้ง จำเป็นต้องแตกสาขาไปเรียน ตามลำดับหน่วยหรือเนื้อหาวิชาตามที่คุณเขียนบทเรียนได้ออกแบบจัดไว้ มีองค์ประกอบเป็น แผนภาพดังนี้



บทเรียนสำเร็จรูปสาขา (Branching) ของคราวเดอร์มีข้อแตกต่าง จากแบบ เชิงเส้นของสกินเนอร์ การเรียนรู้ตามแบบเชิงเส้นของสกินเนอร์ เป็นการคาดหวังที่จะให้ ผู้เรียนตอบคำถามให้ถูกต้องอย่างเดียว ซึ่งอาจขัดต่อความเป็นจริงตามธรรมชาติ เพราะ ผู้เรียนแต่ละคนมีความสามารถแตกต่างกันไป การเรียนรู้ได้มากน้อยต่างกัน จึงมีโอกาส ตอบผิดพลาดได้ง่าย บทเรียนสำเร็จรูปแบบสาขาของคราวเดอร์ จึงสร้างขึ้นสนองตาม ต้องการทางสติปัญญา ความสามารถของผู้เรียน ตามสภาพเป็นจริงมากกว่า

## 2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เรวัตร์ แสงอุบล (2530) ได้ทำการวิจัย เรื่อง การศึกษาเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนในกลุ่มเสริมสร้างประสบการณ์ชีวิต เรื่อง ฟิช สำหรับนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 5 โดยการใช้บทเรียนแบบโปรแกรมกับการสอนปกติ โดยกลุ่มตัวอย่างเป็นนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 5 ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2529 ของโรงเรียนอรุณรังสี จังหวัดหนองคาย กลุ่มทดลองที่เรียนจากบทเรียนแบบโปรแกรม ได้คะแนนผลสัมฤทธิ์สูงกว่ากลุ่มควบคุมที่เรียนจากวิธีสอนแบบปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

พัชรี ภัทรมูล (2533) ได้ทำการทดลองและประเมินผลการใช้บทเรียนแบบโปรแกรม เรื่อง สัตว์ สำหรับนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 5 โดยกลุ่มตัวอย่างเป็นนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 5 ปีการศึกษา 2533 ของโรงเรียนบ้านปลัดปึก จำนวน 42 คน และโรงเรียนวัดโพธิ์ทอง อำเภอเมือง จังหวัดบุรีรัมย์ จำนวน 24 คน รวม 66 คน ปรากฏว่า ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแตกต่างระหว่างคะแนนก่อนการทดลองและหลังการทดลอง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 ซึ่งเป็นผลที่สามารถยืนยันได้ว่า บทเรียนโปรแกรมที่สร้างขึ้นสามารถนำไปใช้ในการเรียนการสอนในสถานการณ์จริงได้

เกษรา สุชีรัมย์ <[http://dcms.thailis.or.th/dcms/basic.php?institute\\_code=23&option=show&bib=168&query=แบบเรียนสำเร็จรูป&doc\\_type=0](http://dcms.thailis.or.th/dcms/basic.php?institute_code=23&option=show&bib=168&query=แบบเรียนสำเร็จรูป&doc_type=0) (12 พฤษภาคม 2549)> ได้ทำการวิจัยเรื่อง การใช้บทเรียนสำเร็จรูปแบบสาขา ในการเรียนสาระวิทยาศาสตร์หน่วย การเรียนรู้ บรรยากาศ ระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 การวิจัยครั้งนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนก่อนเรียน และหลังเรียนด้วยบทเรียนสำเร็จรูปแบบสาขา ผลการวิจัยพบว่า นักเรียนที่เรียนด้วยบทเรียนสำเร็จรูปแบบสาขา หน่วยการเรียนรู้ เรื่อง บรรยากาศ หน่วยย่อย เรื่อง องค์ประกอบ และการแบ่งชั้นบรรยากาศ และหน่วยย่อย เรื่อง การพยากรณ์ อากาศ มีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01

กาญจนา เทนอิสสระ <[http://www.riclib.nrct.go.th/scripts/wwwi32.exe/\[in=book2.par\]?^t2006=123020&^t2003=21&^t2000=บทเรียนโปรแกรม](http://www.riclib.nrct.go.th/scripts/wwwi32.exe/[in=book2.par]?^t2006=123020&^t2003=21&^t2000=บทเรียนโปรแกรม) (12 พฤษภาคม 2549)> ได้ทำการวิจัยเรื่อง การสร้างบทเรียนโปรแกรมวิชาเคมี เรื่อง การจัดจำแนกสาร สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างบทเรียนโปรแกรมแบบเส้นตรง ผลการศึกษา บทเรียนโปรแกรมแบบเส้นตรง วิชาเคมี เรื่อง การจัดจำแนกสาร สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ที่สร้างขึ้นมีประสิทธิภาพ 89.38/80.36 และค่าดัชนีประสิทธิผล 0.66

คมเพชร โพธิ์ปัสสา <<http://www.riclib.nrct.go.th/scripts/wwwi32.exe/?in=book2.par/?^t2006=41415&^t2003=121&^t2000=แบบเรียนสำเร็จรูป> (12 พฤษภาคม 2550)> ได้ทำการวิจัยเรื่อง การสร้างบทเรียนโปรแกรมวิชาวิทยาศาสตร์ เรื่องเครื่องใช้ไฟฟ้า สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างบทเรียนโปรแกรมวิชาวิทยาศาสตร์ เรื่องเครื่องใช้ไฟฟ้า สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 ผลการศึกษา บทเรียนโปรแกรมที่สร้างขึ้นแบบเส้นตรงมีประสิทธิภาพ 92.10/92.10 และมีค่าดัชนี ประสิทธิภาพ 0.60 สูงกว่าเกณฑ์ที่ตั้งไว้ ทำให้ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนชั้น มัธยมศึกษาปีที่ 3 มีความก้าวหน้าตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้

พิเชษฐ หาดิ <<http://www.riclib.nrct.go.th/scripts/wwwi32.exe/?in=book2.par/?^t2006=51556&^t2003=121&^t2000=แบบเรียนสำเร็จรูป> (12 พฤษภาคม 2550)> ได้ทำการวิจัยเรื่อง การศึกษาเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาอุปกรณ์ป้องกัน ไฟฟ้าแรงสูง ระหว่างการเรียนการสอนด้วยบทเรียนสำเร็จรูปกับการสอนบรรยาย ประกอบการใช้สื่อ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนระหว่างการ เรียนการสอนด้วยบทเรียนสำเร็จรูปและการสอนบรรยายประกอบการใช้สื่อ ผลการวิจัยสรุปว่า ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนการสอนด้วยบทเรียนสำเร็จรูปสูงกว่าการสอนบรรยายประกอบ การใช้สื่อ อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.01

วีระพงศ์ วรพงศ์ทรัพย์ <<http://www.riclib.nrct.go.th/scripts/wwwi32.exe/?in=book2.par/?^t2006=87737&^t2003=201&^t2000=แบบเรียนสำเร็จรูป> (12 พฤษภาคม 2550)> ได้ทำการวิจัยเรื่อง การสร้างบทเรียนสำเร็จรูปคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง เทคโนโลยีมัลติมีเดีย โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อใช้หาประสิทธิภาพทางการเรียนโดยใช้ บทเรียนสำเร็จรูปคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง เทคโนโลยีมัลติมีเดีย ผลการวิจัยพบว่า บทเรียนสำเร็จรูปที่สร้างขึ้นมีประสิทธิภาพ 85.03/82.65 สูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนด และ บทเรียนสำเร็จรูปคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง เทคโนโลยีมัลติมีเดีย สามารถทำให้ผู้เรียนมี ประสิทธิภาพทางการเรียนเพิ่มขึ้น (50.73) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติอยู่ที่ระดับ 0.01 สามารถนำไปใช้ในการเรียนด้วยตนเองได้

ทักษ์ หงส์ทอง <<http://www.riclib.nrct.go.th/scripts/wwwi32.exe/?in=book2.par/?^t2006=115221&^t2003=241&^t2000=แบบเรียนสำเร็จรูป> (12 พฤษภาคม 2550)> ได้ทำการวิจัยเรื่อง บทเรียนโปรแกรมบนระบบอินเทอร์เน็ต เรื่องวัฏจักรทำความ เย็นแบบอัดไอ ระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขต เชียงราย โดยมีจุดประสงค์เพื่อสร้างบทเรียนโปรแกรมบนระบบอินเทอร์เน็ต เรื่องวัฏจักรทำ ความเย็นแบบอัดไอ และศึกษาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาเครื่องทำความเย็นและปรับ อากาศ สำหรับนักศึกษาในระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง ปีที่ 2 แผนกวิชาไฟฟ้า คณะ

วิชาไฟฟ้าสถิตบ้านราชมงคล วิทยาเขตเชียงราย ปีการศึกษา 2546 เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา คือ บทเรียนโปรแกรมบนระบบอินเทอร์เน็ต ผลการศึกษา คะแนนเฉลี่ยของนักศึกษามีค่าสูงขึ้น

นุตประวีร์ ประไพพิศ <<http://www.riclib.nrct.go.th/scripts/wwwi32.exe/fin=book2.par/?^t2006=137315&^t2003=261&^t2000=แบบเรียนสำเร็จรูป> (12 พฤษภาคม 2550)> ได้ทำการวิจัยเรื่อง การพัฒนาบทเรียนสำเร็จรูป เรื่อง พระไตรปิฎก สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาและหาประสิทธิภาพ และทดลองใช้บทเรียนสำเร็จรูป ผลการวิจัยพบว่า บทเรียนสำเร็จรูปเรื่อง พระไตรปิฎก สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 มีค่าประสิทธิภาพ 81.00/82.23 และนักเรียนมีผลการเรียนรู้ทางการเรียนก่อนเรียนและหลังเรียนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับ 0.01 โดยหลังเรียนนักเรียนมีผลการเรียนรู้ทางการเรียนสูงกว่าก่อนเรียน

ยงยุทธ สุวรรณหนึ่ง <<http://www.riclib.nrct.go.th/scripts/wwwi32.exe/fin=book2.par/?^t2006=125317&^t2003=21&^t2000=บทเรียนสำเร็จรูป> (12 พฤษภาคม 2550)> ได้ทำการวิจัยเรื่อง การสร้างบทเรียนสำเร็จรูป เรื่อง การเกษตรตามแนวทฤษฎีใหม่ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อหาประสิทธิภาพและผลการใช้บทเรียนสำเร็จรูป ผลการวิจัยพบว่า บทเรียนสำเร็จรูปที่สร้างขึ้นมีค่าประสิทธิภาพ 86.13/80.00 นักเรียนมีคะแนนความรู้ ความเข้าใจ เรื่อง การเกษตรตามแนวทฤษฎีใหม่ หลังการใช้บทเรียนสำเร็จรูปสูงกว่าก่อนใช้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

สุภชัย ศรีมันตะ <<http://www.riclib.nrct.go.th/scripts/wwwi32.exe/fin=book2.par/?^t2006=97126&^t2003=21&^t2000=บทเรียนโปรแกรม> (12 พฤษภาคม 2549)> ได้ทำการวิจัยเรื่อง การศึกษาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ความคิดเห็น และความคงทนในการเรียนรู้วิชาคณิตศาสตร์ เรื่อง ลำดับเลขคณิต ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 โดยการสอนเสริมด้วยบทเรียนโปรแกรม โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ความคิดเห็น ความคงทนในการเรียนรู้วิชาคณิตศาสตร์ เรื่องลำดับเลขคณิต ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 โดยการสอนเสริมด้วยบทเรียนโปรแกรม ผลการวิจัยพบว่า คะแนนเฉลี่ยของผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 วิชาคณิตศาสตร์ เรื่องลำดับเลขคณิต โดยการสอนเสริมด้วยบทเรียนโปรแกรมหลังเรียนสูงกว่าคะแนนเฉลี่ยของการทดสอบก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญ 0.05 คะแนนเฉลี่ยของความคงทนในการเรียนรู้กับคะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนไม่แตกต่างกัน

จากเอกสารและผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่กล่าวมาแล้วข้างต้นชี้ให้เห็นว่า การจัดการเรียนการสอนในปัจจุบัน มุ่งเน้นให้ผู้เรียนได้พึ่งตนเองให้มากที่สุด และสนองความแตกต่างระหว่างบุคคล เพราะบุคคลแต่ละบุคคลย่อมมีความแตกต่างกัน ไม่ว่าจะเป็นความต้องการ

ความสนใจ หรือความถนัดเป็นต้น จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องนำสื่อ/นวัตกรรมทางการศึกษา มาช่วยในการจัดการเรียนการสอนให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น และที่สำคัญบทเรียนสำเร็จรูปก็ยังคงจัดว่าเป็นสื่อ/นวัตกรรมทางการศึกษาในระดับมัธยมศึกษาอย่างหนึ่ง ซึ่งผู้วิจัยเห็นว่าสามารถนำมาใช้ช่วยในการแก้ปัญหาและพัฒนาการเรียนการสอนให้มีประสิทธิภาพได้ เพราะบทเรียนสำเร็จรูปเป็นสิ่งเร้าที่สร้างขึ้นและมีประสิทธิภาพตามเกณฑ์มาตรฐานที่ตั้งไว้ เพื่อให้ผู้เรียนได้เรียนรู้ด้วยตนเอง มีการแบ่งเนื้อหาไว้เป็นส่วน ๆ ประกอบด้วยคำอธิบาย และมีคำถามไว้ต่อเนื่องกันไป โดยเริ่มจากง่ายไปหายากตามลำดับ เมื่อนักเรียนศึกษาและตอบคำถามแล้ว นักเรียนสามารถตรวจคำตอบได้ด้วยตนเองทันที อีกทั้งยังนำไปเรียนนอกห้องเรียนได้ ช่วยให้นักเรียนไม่เครียด ไม่เบื่อหน่าย และเพลิดเพลินในการเรียน เน้นการใช้เวลาว่างให้เกิดการเรียนรู้ได้ทุกขณะเมื่อเสร็จจากการช่วยผู้ปกครองทำงานบ้าน อีกทั้งยังช่วยนักเรียนที่เรียนไม่ทันเพื่อนให้เรียนทันได้ถึงแม้ว่าจะใช้เวลามากกว่าก็ตาม ส่งให้การเรียนการสอนบรรลุตามหลักสูตรและเป้าหมายที่กำหนดไว้

จากการศึกษาเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังกล่าวข้างต้น ผู้วิจัยสามารถโยนไปสู่สมมุติฐานงานวิจัยได้ดังนี้ คือ

1. บทเรียนสำเร็จรูป วิชาฟิสิกส์ เรื่อง แบบจำลองอะตอม ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ที่มีประสิทธิภาพและผ่านเกณฑ์มาตรฐาน 80/80
2. นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 โรงเรียนสกลนครพัฒนศึกษาที่เรียนโดยใช้บทเรียนสำเร็จรูปประกอบ วิชาฟิสิกส์ เรื่องแบบจำลองอะตอม มีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนสูงขึ้น



## บทที่ 3

### วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยและพัฒนาบทเรียนสำเร็จรูป และผลการใช้บทเรียนสำเร็จรูป วิชาฟิสิกส์ เรื่อง แบบจำลองอะตอม ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 โรงเรียนสกลนครพัฒนศึกษา ผู้วิจัยได้ดำเนินการเป็น 2 ขั้นตอน ดังนี้

ตอนที่ 1 สร้างและพัฒนาบทเรียนสำเร็จรูป วิชาฟิสิกส์ เรื่องแบบจำลองอะตอม ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6

ตอนที่ 2 ใช้บทเรียนสำเร็จรูป วิชาฟิสิกส์ เรื่อง แบบจำลองอะตอม ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6

**ตอนที่ 1 สร้างและพัฒนาบทเรียนสำเร็จรูป วิชาฟิสิกส์ เรื่อง แบบจำลองอะตอม ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6**

ในการสร้างบทเรียนสำเร็จรูป ได้ออกแบบวิจัยเชิงทดลองเบื้องต้นแบบไม่มีการสุ่ม และไม่มีการควบคุม ในการวิจัยการสร้างและพัฒนาบทเรียนสำเร็จรูปนี้ได้แบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนการวิจัย ขั้นพัฒนา และ ขั้นตอนการประเมินผล

#### 1. ขั้นตอนการวิจัย

ในการสร้างบทเรียนสำเร็จรูป ผู้วิจัยได้ดำเนินการตามขั้นตอนต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

1.1 กำหนดหัวข้อหรือเนื้อหา วิชาฟิสิกส์ เรื่อง แบบจำลองอะตอม ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ที่นักเรียนสอบได้คะแนนน้อยหรือสอบไม่ผ่านจุดประสงค์การเรียนรู้ เพื่อนำมาสร้างบทเรียนสำเร็จรูป

1.2 กำหนดรูปแบบบทเรียนสำเร็จรูปที่เหมาะสมกับเนื้อหาและนักเรียน ซึ่งในการวิจัยและพัฒนาครั้งนี้ผู้วิจัยได้เลือกบทเรียนสำเร็จรูปแบบเส้นตรง (Linear Programmed)

1.3 ศึกษาหลักสูตร วิเคราะห์เนื้อหา วิชาฟิสิกส์ เรื่อง แบบจำลองอะตอม ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 โดยศึกษาจากแผนการสอน หนังสือเรียน การสืบค้นข้อมูล เอกสาร และตำราต่าง ๆ

1.4 วางโครงร่างในการเขียนบทเรียนสำเร็จรูป โดยแบ่งออกเป็นหน่วยย่อย ๆ และกำหนดจุดประสงค์การเรียนรู้ เขียนกรอบเรียงตามวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม ประกอบด้วย กรอบเนื้อหา กรอบคำถาม และกรอบเฉลย

## 2. ขั้นพัฒนา

2.1 การทดสอบประสิทธิภาพของบทเรียนสำเร็จรูป วิชาฟิสิกส์ เรื่อง แบบจำลองอะตอม ในชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 นำบทเรียนสำเร็จรูปไปใช้เพื่อให้มีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ที่ตั้งไว้ โดยดำเนินการดังนี้

2.1.1 นำบทเรียนสำเร็จรูป วิชาฟิสิกส์ เรื่อง แบบจำลองอะตอม ไปให้ผู้เชี่ยวชาญ 5 คน ตรวจสอบความถูกต้องเชิงเนื้อหาและเชิงโครงสร้าง เพื่อนำข้อคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญมาปรับปรุงแก้ไข และนำบทเรียนสำเร็จรูป วิชาฟิสิกส์ เรื่อง แบบจำลองอะตอม ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ที่แก้ไขแล้วไปทดลองกับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 โรงเรียนสกลนครพัฒนศึกษา ที่ยังไม่ได้เรียนวิชานี้ แบบ 1 : 1 (One to One testing or Individual try Out) นำไปทดลองกับนักเรียนโดยเลือกนักเรียนที่มีผลการเรียนปานกลางค่อนข้างอ่อน โดยอธิบายวัตถุประสงค์และวิธีการเรียนอย่างละเอียด ขณะที่นักเรียนศึกษาบทเรียนสำเร็จรูป วิชาฟิสิกส์ เรื่อง แบบจำลองอะตอม ผู้วิจัยจะคอยตรวจสอบความเข้าใจของนักเรียน โดยการซักถามตลอดเวลา เพื่อสำรวจภาษาที่ใช้ว่าสื่อความหมายได้เหมาะสมเพียงใด เมื่อทดลองเสร็จให้นำบทเรียนสำเร็จรูป วิชาฟิสิกส์ เรื่อง แบบจำลองอะตอม ไปหาประสิทธิภาพและปรับปรุงข้อบกพร่องด้านภาษาให้ถูกต้อง

2.1.2 การทดลองแบบกลุ่มเล็ก (Small Group testing or Group try Out) คัดเลือกนักเรียนจำนวน 9 คน จากนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 โรงเรียนสกลนครพัฒนศึกษา โดยเลือกจากนักเรียนที่มีผลการเรียนมา 3 ระดับ คือ ระดับเก่ง 3 คน ที่มีคะแนนเฉลี่ยตั้งแต่ 3.00 – 4.00 ระดับปานกลาง 3 คน ที่มีคะแนนเฉลี่ยตั้งแต่ 2.00 – 2.99 และระดับต่ำ 3 คน ที่มีคะแนนเฉลี่ยตั้งแต่ 1.00 – 1.99 รวม 9 คน โดยอธิบายวัตถุประสงค์และวิธีการเรียนอย่างละเอียด จับเวลาเรียน นักเรียนทำแบบทดสอบก่อนเรียน ศึกษาเนื้อหาจากบทเรียนสำเร็จรูป วิชาฟิสิกส์ เรื่อง แบบจำลองอะตอม ชั้น มัธยมศึกษาปีที่ 6 ทำแบบฝึกหัด และประเมินผลตนเองจากคำตอบ และทำแบบทดสอบหลังเรียน เมื่อทดลองเสร็จนำไปหาประสิทธิภาพของบทเรียนสำเร็จรูป วิชาฟิสิกส์ เรื่อง แบบจำลอง

อะตอม ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 และนำข้อบกพร่องที่พบจากการทดลองแบบกลุ่มเล็กมาปรับปรุงแก้ไขต่อไป

2.1.3 การทดลองภาคสนาม (Field testing) โดยทำการทดลองกับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ปีการศึกษา 2548 โรงเรียนสกลนครพัฒนศึกษา ที่ไม่ใช่กลุ่มตัวอย่าง จำนวน 30 คน โดยดำเนินการเช่นเดียวกับกลุ่มเล็กเมื่อทดลองเสร็จนำไปหาประสิทธิภาพของบทเรียนสำเร็จรูป วิชาฟิสิกส์ เรื่อง แบบจำลองอะตอม ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6

หลังจากพัฒนาบทเรียนสำเร็จรูป วิชาฟิสิกส์ เรื่อง แบบจำลองอะตอม ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ที่สร้างขึ้นมีประสิทธิภาพ 82.86/81.38 สูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดคือ 80/80

### 3. ขั้นตอนการประเมินผล

จากนั้นผู้วิจัยได้นำบทเรียนสำเร็จรูป วิชาฟิสิกส์ เรื่อง แบบจำลองอะตอม ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ที่สร้างขึ้นและพัฒนาแล้วนำไปใช้กับนักเรียนที่ผู้วิจัยสอนในโรงเรียนสกลนครพัฒนศึกษา จำนวน 2 ห้อง ในภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2548 ที่เป็นกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 68 คน ทำการประเมินผลเพื่อการวิเคราะห์โดยใช้ในกิจกรรมการเรียนการสอน ดังนี้

3.1 ใช้ในการสอนซ่อมเสริมนักเรียน

3.2 ให้นักเรียนยืมเพื่อศึกษาค้นคว้าด้วยตนเอง

### ตอนที่ 2 ชั้นใช้บทเรียนสำเร็จรูป วิชาฟิสิกส์ เรื่อง แบบจำลองอะตอม ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6

การใช้บทเรียนสำเร็จรูปวิชาฟิสิกส์ เรื่องแบบจำลองอะตอม ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 มีลำดับการใช้ดังนี้

#### 1. ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

1.1 ประชากร ได้แก่ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ปีการศึกษา 2548 โรงเรียนสกลนครพัฒนศึกษา จำนวน 167 คน

กลุ่มตัวอย่าง ได้แก่ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ห้อง 1 และห้อง 2 จำนวน 68 คน โรงเรียนสกลนครพัฒนศึกษา ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2548

ได้กลุ่มตัวอย่างจากการเลือกแบบเจาะจง

## 2. การกำหนดรูปแบบการทดลองใช้

การทดลองใช้ครั้งนี้ใช้รูปแบบการทดลองเป็นแบบ Pretest – Posttest Control Group Design โดยมีรูปแบบดังนี้

|   |                |   |                |
|---|----------------|---|----------------|
| R | O <sub>1</sub> | X | O <sub>2</sub> |
| R | O <sub>3</sub> | - | O <sub>4</sub> |

เนื้อหาวิชาและระยะเวลาที่ใช้ในการทดลอง

เนื้อหาวิชาที่ใช้ในการทดลองเพื่อศึกษาผลการใช้ คือ บทเรียนสำเร็จรูป วิชาฟิสิกส์ เรื่อง แบบจำลองอะตอม กับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ห้อง 1 และ ห้อง 2 จำนวน 68 คน โรงเรียนสกลนครพัฒนศึกษา ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2548 ประกอบด้วย แบบจำลองอะตอมของดาลตัน การค้นพบอิเล็กตรอน การทดลองของมิลลิแกน แบบจำลองอะตอมของทอมสัน แบบจำลองอะตอมของรัทเทอร์ฟอร์ด สเปกตรัมจากอะตอมของแก๊ส การแผ่รังสีของวัตถุดำ ปฏิกิริยาการแผ่รังสีไฟฟ้าสถิต แบบจำลองอะตอมของโบร์ รังสีเอกซ์ สมมติฐานของเดอบรอยล์ และหลักความไม่แน่นอนและโครงสร้างอะตอมตามแนวคิดกลศาสตร์ควอนตัม

## 3. การสร้างเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

เครื่องมือที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ประกอบด้วยแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนมีขั้นตอนการดำเนินการดังนี้

3.1 ศึกษาวิธีการสร้างแบบทดสอบจากเอกสารและตำราทางวิชาการต่าง ๆ พร้อมทั้งขอคำแนะนำจากผู้เชี่ยวชาญด้านการสร้างแบบทดสอบ จากนั้นดำเนินการสร้างโดยศึกษาเนื้อหาในเรื่องที่จะทำบทเรียนสำเร็จรูป กำหนดจุดประสงค์การเรียนรู้ให้ตรงตามหลักสูตรและดำเนินการออกข้อสอบ 60 ข้อ เป็นแบบทดสอบปรนัยชนิดเลือกตอบ 4 ตัวเลือก แล้วนำแบบทดสอบไปปรึกษาผู้เชี่ยวชาญด้านเนื้อหา คือ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สุวิทย์ จักขุจินดา ดร.ทศวรรษ สีตะวัน ดร.อมรา เขียวรักษา มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร

เพื่อตรวจดูข้อบกพร่องต่างๆ แล้วนำมาปรับปรุงแก้ไข และคัดเลือกแบบทดสอบไว้ 30 ข้อ จากนั้นนำไปทดสอบกับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 โรงเรียนสกลนครพัฒนศึกษา ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2548

3.2 การคำนวณหาค่าความยากง่าย (P) และอำนาจจำแนก (r) โดยเลือกข้อสอบที่มีค่าความยากง่าย อยู่ระหว่าง .20 - .80 และค่าอำนาจจำแนกตั้งแต่ .20 ขึ้นไป โดยพิจารณาจากความสอดคล้องกับจุดประสงค์การเรียนรู้ที่ตั้งไว้ และครอบคลุมเนื้อหาโดยส่วนรวมเป็นสำคัญ จากนั้นทำการวิเคราะห์ค่าความยากง่าย (Difficulty Index) และค่าอำนาจจำแนก ของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนการทดลองใช้สูตร คือ

$$P = \frac{H + L}{2n}$$

และ 
$$r = \frac{H - L}{n}$$

(บุญธรรม กิจปรีดาบริสุทธิ์, 2531)

|       |   |     |                            |
|-------|---|-----|----------------------------|
| เมื่อ | P | แทน | ค่าความยากง่าย             |
|       | r | แทน | ค่าอำนาจจำแนก              |
|       | H | แทน | จำนวนคนในกลุ่มสูงที่ตอบถูก |
|       | L | แทน | จำนวนคนในกลุ่มต่ำที่ตอบถูก |
|       | n | แทน | จำนวนคนแต่ละกลุ่ม          |

3.3 นำแบบทดสอบที่คัดเลือกได้ไปทำการสอบนักเรียนอีกครั้งหนึ่ง แล้วนำผลที่ได้มาคำนวณหาค่าความเชื่อมั่นของแบบทดสอบโดยใช้สูตร KR-20 ของคูเดอร์ ริชาร์ดสัน (Kuder – Richardson) ปรากฏว่าแบบทดสอบมีค่าความเที่ยงตรงเท่ากับ 0.51

$$r_{tt} = \frac{k}{k-1} \left[ 1 - \frac{\sum pq}{s_t^2} \right]$$

(บุญธรรม กิจปรีดาบริสุทธิ์, 2531)

|       |          |     |                          |
|-------|----------|-----|--------------------------|
| เมื่อ | $r_{tt}$ | แทน | ความเชื่อมั่นของแบบทดสอบ |
|       | k        | แทน | จำนวนข้อสอบของแบบทดสอบ   |
|       | p        | แทน | สัดส่วนของผู้ตอบถูก      |

|         |     |                                |
|---------|-----|--------------------------------|
| q       | แทน | สัดส่วนของผู้ตอบผิด หรือ (1-P) |
| $s_1^2$ | แทน | ความแปรปรวนของคะแนนทั้งฉบับ    |

#### 4. การทดลองใช้

ในขั้นการทดลองใช้เป็นการตรวจสอบประสิทธิภาพของบทเรียนสำเร็จรูป วิชาฟิสิกส์ เรื่อง แบบจำลองอะตอม ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ที่สร้างขึ้น โดยใช้คู่กับเครื่องมือวิจัยที่สร้างขึ้นมาคือ แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน วิชาฟิสิกส์ เรื่อง แบบจำลองอะตอม นำแบบทดสอบไปทดสอบกับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ห้อง 1 และ ห้อง 2 ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2548 โรงเรียนสกลนครพัฒนศึกษา จำนวน 68 คน

#### 5. เก็บการรวบรวมข้อมูล

ผู้วิจัยได้ดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูล โดยดำเนินการตามขั้นตอนดังนี้

- 1.5.1 ได้ทำการทดสอบก่อนการทดลอง (Pre test) โดยใช้เวลา 2 คาบ
- 1.5.2 ผู้วิจัยเป็นผู้ดำเนินการสอนด้วยตนเองทั้ง 2 กลุ่ม โดยให้กลุ่มทดลองเรียนด้วยการสอนที่ใช้บทเรียนสำเร็จรูป วิชาฟิสิกส์ เรื่อง แบบจำลองอะตอม ชั้นมัธยมศึกษา ปีที่ 6 ประกอบที่สร้างขึ้น และกลุ่มควบคุมเรียนด้วยการสอนที่ไม่ใช้บทเรียนสำเร็จรูปวิชาฟิสิกส์ เรื่อง แบบจำลองอะตอม ชั้นมัธยมศึกษา ปีที่ 6
- 1.5.3 หลังจากนักเรียนเรียนโดยใช้บทเรียนสำเร็จรูปวิชาฟิสิกส์ เรื่อง แบบจำลองอะตอม ชั้นมัธยมศึกษา ปีที่ 6 ประกอบแล้ว ได้ดำเนินการสอบทันที ใช้เวลา 2 คาบ

#### 6. การวิเคราะห์ข้อมูลและสถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลสำหรับการวิจัยได้แยกออกเป็น 2 ขั้นตอน คือ

- 6.1 ชั้นสร้างและพัฒนาบทเรียนสำเร็จรูป วิชาฟิสิกส์ เรื่อง แบบจำลองอะตอม ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6
- 6.2 ชั้นใช้บทเรียนสำเร็จรูป วิชาฟิสิกส์ เรื่อง แบบจำลองอะตอม ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6

การวิเคราะห์ข้อมูลแต่ละขั้นตอนดังกล่าว มีรายละเอียดของการดำเนินการ  
ดังนี้

1. ชั้นตรวจสอบและประเมินบทเรียนสำเร็จรูป วิชาฟิสิกส์ เรื่อง  
แบบจำลองอะตอม ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 สถิติที่ใช้วิเคราะห์ข้อมูลในขั้นตอนนี้ คือ

การคำนวณค่าเฉลี่ย (Mean) ใช้สูตร

$$\bar{X} = \frac{\sum X}{N}$$

เมื่อ  $\bar{X}$  คือ ค่าเฉลี่ย  
 $\sum X$  คือ ผลรวมของคะแนน  
 $N$  คือ ขนาดของกลุ่มตัวอย่าง

การหาประสิทธิภาพของบทเรียนสำเร็จรูป วิชาฟิสิกส์ เรื่อง  
แบบจำลองอะตอม ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ( $E_1/E_2$ ) ตามเกณฑ์มาตรฐาน 80/80 ใช้สูตร

$$E_1 = \frac{\sum X \times 100}{N \times A}$$

เมื่อ  $E_1$  หมายถึง ค่าประสิทธิภาพของกระบวนการคิดเป็นร้อยละ  
ของคะแนนที่นักเรียนได้รับโดยเฉลี่ยจากการ  
ทำแบบฝึกหัดและกิจกรรม

$\sum X$  หมายถึง คะแนนรวมของกลุ่มตัวอย่างจากการทำ  
แบบฝึกหัดหรือกิจกรรมที่มอบหมาย

$N$  หมายถึง จำนวนกลุ่มตัวอย่างทั้งหมด

$A$  หมายถึง คะแนนเต็มของแบบฝึกหัดและกิจกรรม

$$E_2 = \frac{\sum F \times 100}{N \times B}$$

เมื่อ  $E_2$  หมายถึง ค่าประสิทธิภาพของผลลัพธ์ของบทเรียน  
สำเร็จรูปวิชาฟิสิกส์ เรื่อง แบบจำลองอะตอม  
ในการเปลี่ยนพฤติกรรมนักเรียน

$\sum F$  หมายถึง คะแนนรวมแบบทดสอบหลังเรียน

$N$  หมายถึง จำนวนกลุ่มตัวอย่างทั้งหมด

$B$  หมายถึง คะแนนเต็มของแบบทดสอบหลังเรียน

(บุญธรรม กิจปรีดาบริสุทธิ์, 2531)

ชั้นใช้บทเรียนสำเร็จรูป วิชาฟิสิกส์ เรื่อง แบบจำลองอะตอม  
ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 สถิติที่ใช้วิเคราะห์ข้อมูลในชั้นตอนนี้ คือ

### 1.3.1 การคำนวณค่าเฉลี่ย (Mean) ใช้สูตร

$$\bar{X} = \frac{\sum X}{N}$$

เมื่อ  $\bar{X}$  คือ ค่าเฉลี่ย  
 $\sum X$  คือ ผลรวมของคะแนน  
 $N$  คือ ขนาดของกลุ่มตัวอย่าง

ทดลองความแตกต่างระหว่างคะแนนก่อนใช้และหลังใช้  
บทเรียนสำเร็จรูป วิชาฟิสิกส์ เรื่อง แบบจำลองอะตอม โดยใช้สูตร t-test

$$t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{\frac{n\sum D^2 - (\sum D)^2}{n \times n(n-1)}}$$

(บุญธรรม กิจปรีดาบริสุทธิ์, 2531)

เมื่อ  $\bar{X}_1, \bar{X}_2$  = ค่าเฉลี่ยของคะแนนผลต่างระหว่างคะแนนหลังเรียนและก่อนเรียน  
ของกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลอง

$S_1^2, S_2^2$  = ค่าความแปรปรวนของคะแนนผลต่างระหว่างคะแนนหลังเรียน  
และก่อนเรียนของกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลอง

$N_1, N_2$  = จำนวนนักเรียนในกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลอง

เปรียบเทียบค่าร้อยละของนักเรียนที่ระดับคะแนนต่างๆ ระหว่าง  
ปีการศึกษา 2547 และ ปีการศึกษา 2548



## บทที่ 4

### การวิเคราะห์ข้อมูล

#### ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาประสิทธิภาพบทเรียนสำเร็จรูป วิชาฟิสิกส์ เรื่อง แบบจำลองอะตอมชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 และบทเรียนสำเร็จรูป วิชาฟิสิกส์ เรื่อง แบบจำลองอะตอมที่พัฒนาขึ้นสามารถแก้ปัญหาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 6 ได้ จากการเรียนการสอนในสถานการณ์จริง ผู้วิจัยได้แบ่งผลการวิเคราะห์แบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน ดังนี้

1. ประสิทธิภาพของบทเรียนสำเร็จรูป จากการสร้างและพัฒนาบทเรียนสำเร็จรูป วิชา ฟิสิกส์ เรื่อง แบบจำลองอะตอม ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6
2. ประเมินผลการใช้บทเรียนสำเร็จรูป วิชา ฟิสิกส์ เรื่อง แบบจำลองอะตอม ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ทุกเล่มโดยวิเคราะห์จากคะแนนทดสอบก่อนเรียน หลังเรียน จากนั้นเปรียบเทียบค่าร้อยละของนักเรียนที่ได้ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนในปีการศึกษา 2547 และปีการศึกษา 2548

#### 1. ประสิทธิภาพของบทเรียนสำเร็จรูป จากการสร้างและพัฒนาบทเรียนสำเร็จรูป วิชา ฟิสิกส์ เรื่อง แบบจำลองอะตอม ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6

บทเรียนสำเร็จรูปที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น ได้หาประสิทธิภาพดังนี้

การหาประสิทธิภาพของบทเรียนสำเร็จรูปในครั้งนี้ได้ทำ 3 ขั้นตอน คือ

ขั้นที่ 1 การหาประสิทธิภาพของบทเรียนสำเร็จรูป แบบ 1 : 1 เป็นการหาข้อบกพร่องต่าง ๆ ของบทเรียนสำเร็จรูป วิชา ฟิสิกส์ เรื่อง แบบจำลองอะตอม ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 เพื่อที่จะนำข้อบกพร่องที่พบไปปรับปรุงแก้ไข ก่อนที่จะนำบทเรียนสำเร็จรูป วิชา ฟิสิกส์ เรื่อง แบบจำลองอะตอม ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 นั้นไปใช้ในการทดลองกับกลุ่มเล็ก ในขั้นตอนนี้ได้เกณฑ์มาตรฐานของบทเรียนสำเร็จรูป วิชา ฟิสิกส์

เรื่อง แบบจำลองอะตอม ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 เท่ากับ 81.67/80

ขั้นที่ 2 การหาประสิทธิภาพของบทเรียนสำเร็จรูป แบบกลุ่มเล็ก เป็นการหาข้อบกพร่องต่าง ๆ ของบทเรียนสำเร็จรูป วิชา ฟิสิกส์ เรื่อง แบบจำลองอะตอม ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 เพื่อที่จะนำข้อบกพร่องที่พบไปปรับปรุงแก้ไข ก่อนที่จะนำบทเรียนสำเร็จรูป วิชา ฟิสิกส์ เรื่อง แบบจำลองอะตอม ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 นั้นไปใช้ในการทดลองภาคสนาม ในขั้นตอนนี้ได้เกณฑ์มาตรฐานของบทเรียนสำเร็จรูป วิชา ฟิสิกส์ เรื่อง แบบจำลองอะตอม ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 เท่ากับ 83.44/81.30

ขั้นที่ 3 การหาประสิทธิภาพของบทเรียนสำเร็จรูปในการทดลองภาคสนาม ซึ่งได้เกณฑ์มาตรฐานของบทเรียนสำเร็จรูป วิชา ฟิสิกส์ เรื่อง แบบจำลองอะตอม ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 เท่ากับ 82.86/81.38

จะเห็นได้ว่า ในการทดลองทั้ง 3 ขั้นตอน จะได้บทเรียนสำเร็จรูป วิชา ฟิสิกส์ เรื่อง แบบจำลองอะตอม ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 มีประสิทธิภาพสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่ได้กำหนดไว้ คือ 80/80 ดังแสดงไว้ในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงประสิทธิภาพของบทเรียนสำเร็จรูป วิชา ฟิสิกส์ เรื่อง แบบจำลองอะตอม ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ในการทดลอง แบบ 1:1 แบบกลุ่มเล็ก และแบบภาคสนาม แสดงค่าเกณฑ์มาตรฐานโดยรวม

| การทดลอง  | จำนวน (คน) | $E_1$ | $E_2$ | การผ่านเกณฑ์มาตรฐาน 80/80 |
|-----------|------------|-------|-------|---------------------------|
| 1:1       | 1          | 81.67 | 80    | ผ่านเกณฑ์                 |
| กลุ่มเล็ก | 9          | 83.44 | 81.30 | ผ่านเกณฑ์                 |
| ภาคสนาม   | 30         | 82.86 | 81.38 | ผ่านเกณฑ์                 |

จากตารางที่ 1 จะเห็นว่า ประสิทธิภาพของบทเรียนสำเร็จรูป วิชา ฟิสิกส์ เรื่อง แบบจำลองอะตอม ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ในการทดลอง แบบ 1:1 มีค่าเท่ากับ 81.67/80 แบบกลุ่มเล็ก มีค่าเท่ากับ 83.44/81.30 และแบบภาคสนาม เท่ากับ 82.86/81.38

ตารางที่ 2 แสดงประสิทธิภาพของบทเรียนสำเร็จรูป วิชา ฟิสิกส์ เรื่อง แบบจำลองอะตอม  
 ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ในการทดลองแบบ 1:1 แสดงค่าเกณฑ์มาตรฐาน  
 ของบทเรียนสำเร็จรูป (12 เล่ม)

| เล่มที่     | $E_1$ | $E_2$ | $E_1/E_2$ | การผ่านเกณฑ์<br>มาตรฐาน 80/80 |
|-------------|-------|-------|-----------|-------------------------------|
| 1           | 80    | 90    | 80/90     | ผ่านเกณฑ์                     |
| 2           | 86.67 | 75    | 86.67/75  | ไม่ผ่านเกณฑ์                  |
| 3           | 83.33 | 70    | 83.33/70  | ไม่ผ่านเกณฑ์                  |
| 4           | 76.67 | 90    | 76.67/90  | ไม่ผ่านเกณฑ์                  |
| 5           | 75    | 70    | 75 /70    | ไม่ผ่านเกณฑ์                  |
| 6           | 75    | 80    | 75 /80    | ไม่ผ่านเกณฑ์                  |
| 7           | 96.67 | 80    | 96.67/80  | ผ่านเกณฑ์                     |
| 8           | 93.33 | 80    | 93.33/80  | ผ่านเกณฑ์                     |
| 9           | 76.67 | 80    | 76.67/80  | ไม่ผ่านเกณฑ์                  |
| 10          | 76.67 | 85    | 76.67/85  | ไม่ผ่านเกณฑ์                  |
| 11          | 83.33 | 75    | 83.33/75  | ไม่ผ่านเกณฑ์                  |
| 12          | 76.67 | 85    | 76.67/85  | ไม่ผ่านเกณฑ์                  |
| รวม 12 เล่ม | 81.67 | 80    | 81.67/80  | ผ่านเกณฑ์                     |

จากตารางที่ 2 จะเห็นว่า ประสิทธิภาพของบทเรียนสำเร็จรูป วิชา ฟิสิกส์ เรื่อง แบบจำลองอะตอม ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 โดยรวมทั้ง 12 เล่ม มีค่าเท่ากับ 81.67/80 เมื่อพิจารณารายเล่ม เล่มที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานมี 3 เล่มคือ เล่มที่ 1 มีค่าเท่ากับ 80/90 เล่มที่ 7 มีค่าเท่ากับ 96.67/80 และ เล่มที่ 8 มีค่าเท่ากับ 93.33/80 และเล่มที่ยังไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานมี 9 เล่มคือ เล่มที่ 2, 3, 4, 5, 6, 9, 10, 11 และ เล่มที่ 12 ต้องปรับปรุงแก้ไขก่อนแล้วจึงนำไปทดลองกับกลุ่มเล็กเพื่อหาค่าประสิทธิภาพของบทเรียนสำเร็จรูป วิชา ฟิสิกส์ เรื่อง แบบจำลองอะตอม ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ต่อไป

ตารางที่ 3 แสดงประสิทธิภาพของบทเรียนสำเร็จรูป วิชา ฟิสิกส์ เรื่อง แบบจำลองอะตอม  
 ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ในการทดลองแบบกลุ่มเล็ก แสดงค่าเกณฑ์มาตรฐานของ  
 บทเรียนสำเร็จรูป (12 เล่ม)

| เล่มที่     | $E_1$ | $E_2$ | $E_1/E_2$   | การผ่านเกณฑ์<br>80/80 |
|-------------|-------|-------|-------------|-----------------------|
| 1           | 85.93 | 81.11 | 85.93/81.11 | ผ่านเกณฑ์             |
| 2           | 84.07 | 82.78 | 84.07/82.78 | ผ่านเกณฑ์             |
| 3           | 83.15 | 80    | 83.15/80    | ผ่านเกณฑ์             |
| 4           | 83.33 | 81.11 | 83.33/81.11 | ผ่านเกณฑ์             |
| 5           | 82.04 | 80.56 | 82.04/80.56 | ผ่านเกณฑ์             |
| 6           | 85.93 | 82.22 | 85.93/82.22 | ผ่านเกณฑ์             |
| 7           | 83.15 | 83.33 | 83.15/83.33 | ผ่านเกณฑ์             |
| 8           | 83.52 | 82.22 | 83.52/82.22 | ผ่านเกณฑ์             |
| 9           | 80.74 | 81.11 | 80.74/81.11 | ผ่านเกณฑ์             |
| 10          | 82.96 | 80    | 82.96/80    | ผ่านเกณฑ์             |
| 11          | 82.59 | 81.11 | 82.59/81.11 | ผ่านเกณฑ์             |
| 12          | 83.89 | 80    | 83.89/80    | ผ่านเกณฑ์             |
| รวม 12 เล่ม | 83.44 | 81.30 | 83.44/81.30 | ผ่านเกณฑ์             |

จากตารางที่ 3 จะเห็นว่า ประสิทธิภาพของบทเรียนสำเร็จรูป วิชา ฟิสิกส์ เรื่อง แบบจำลอง  
 อะตอม ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 โดยรวมทั้ง 12 เล่ม มีค่าเท่ากับ 83.44/81.30  
 เมื่อพิจารณารายเล่ม ทุกเล่มผ่านเกณฑ์มาตรฐาน โดย  
 เล่มที่ 1 มีค่าเท่ากับ 85.93/81.11 เล่มที่ 2 มีค่าเท่ากับ 84.07/82.78  
 เล่มที่ 3 มีค่าเท่ากับ 83.15/80 เล่มที่ 4 มีค่าเท่ากับ 83.33/81.11  
 เล่มที่ 5 มีค่าเท่ากับ 82.04/80.56 เล่มที่ 6 มีค่าเท่ากับ 85.93/82.22  
 เล่มที่ 7 มีค่าเท่ากับ 83.15/83.33 เล่มที่ 8 มีค่าเท่ากับ 83.52/82.22  
 เล่มที่ 9 มีค่าเท่ากับ 80.74/81.11 เล่มที่ 10 มีค่าเท่ากับ 82.96/80  
 เล่มที่ 11 มีค่าเท่ากับ 82.59/81.11 และ เล่มที่ 12 มีค่าเท่ากับ 83.89/80

ตารางที่ 4 แสดงประสิทธิภาพของบทเรียนสำเร็จรูป วิชา ฟิสิกส์ เรื่อง แบบจำลองอะตอม  
 ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ในการทดลองภาคสนาม แสดงค่าเกณฑ์มาตรฐาน  
 ของบทเรียนสำเร็จรูป (12 เล่ม)

| เล่มที่     | $E_1$ | $E_2$ | $E_1/E_2$   | การผ่านเกณฑ์<br>80/80 |
|-------------|-------|-------|-------------|-----------------------|
| 1           | 84.11 | 84.83 | 84.11/84.83 | ผ่านเกณฑ์             |
| 2           | 82    | 80.5  | 82/80.50    | ผ่านเกณฑ์             |
| 3           | 83.78 | 81    | 83.78/81    | ผ่านเกณฑ์             |
| 4           | 83.56 | 80.33 | 83.56/80.33 | ผ่านเกณฑ์             |
| 5           | 82.11 | 81    | 82.11/81    | ผ่านเกณฑ์             |
| 6           | 81.94 | 82.0  | 81.94/82.0  | ผ่านเกณฑ์             |
| 7           | 83.94 | 82.17 | 83.94/82.17 | ผ่านเกณฑ์             |
| 8           | 82.22 | 80    | 82.22/80    | ผ่านเกณฑ์             |
| 9           | 81.67 | 80    | 81.67/80    | ผ่านเกณฑ์             |
| 10          | 83.89 | 82    | 83.89/82    | ผ่านเกณฑ์             |
| 11          | 83.50 | 82.33 | 83.50/82.33 | ผ่านเกณฑ์             |
| 12          | 81.56 | 82.17 | 81.56/82.17 | ผ่านเกณฑ์             |
| รวม 12 เล่ม | 82.86 | 81.38 | 82.86/81.38 | ผ่านเกณฑ์             |

จากตารางที่ 4 จะเห็นว่า ประสิทธิภาพของบทเรียนสำเร็จรูป วิชา ฟิสิกส์ เรื่อง แบบจำลองอะตอม ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 โดยรวมทั้ง 12 เล่ม มีค่าเท่ากับ 82.86/81.38 เมื่อพิจารณารายเล่ม ทุกเล่มผ่านเกณฑ์มาตรฐาน โดย  
 เล่มที่ 1 มีค่าเท่ากับ 84.11/84.83 เล่มที่ 2 มีค่าเท่ากับ 82/80.50  
 เล่มที่ 3 มีค่าเท่ากับ 83.78/81 เล่มที่ 4 มีค่าเท่ากับ 83.56/80.33  
 เล่มที่ 5 มีค่าเท่ากับ 82.11/81 เล่มที่ 6 มีค่าเท่ากับ 81.94/82.0  
 เล่มที่ 7 มีค่าเท่ากับ 83.94/82.17 เล่มที่ 8 มีค่าเท่ากับ 82.22/80  
 เล่มที่ 9 มีค่าเท่ากับ 81.67/80 เล่มที่ 10 มีค่าเท่ากับ 83.89/82  
 เล่มที่ 11 มีค่าเท่ากับ 83.50/82.33 และ เล่มที่ 12 มีค่าเท่ากับ 81.56/82.17

2. ประเมินผลการใช้บทเรียนสำเร็จรูป วิชา ฟิสิกส์ เรื่อง แบบจำลองอะตอม ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ทุกเล่มโดยวิเคราะห์จากคะแนนทดสอบก่อนเรียน หลังเรียน จากนั้นเปรียบเทียบค่าร้อยละของนักเรียนที่ได้ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนในปี การศึกษา 2547 และปีการศึกษา 2548

2.1 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อทดสอบความแตกต่างระหว่างคะแนนก่อนเรียนและหลังเรียนในการใช้บทเรียนสำเร็จรูป วิชา ฟิสิกส์ เรื่อง แบบจำลองอะตอม ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ห้อง 1 และ ห้อง 2 จำนวน 68 คน ดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 คะแนนก่อนเรียนหลังเรียน t-test

| เล่มที่ | จำนวนคน (N) | t-test |
|---------|-------------|--------|
| 1       | 68          | 24.69  |
| 2       | 68          | 34.18  |
| 3       | 68          | 17.79  |
| 4       | 68          | 7.72   |
| 5       | 68          | 20.56  |
| 6       | 68          | 21.18  |
| 7       | 68          | 22.22  |
| 8       | 68          | 20.98  |
| 9       | 68          | 21.20  |
| 10      | 68          | 7.73   |
| 11      | 68          | 16.44  |
| 12      | 68          | 18.96  |

2.2 การเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์วิชาฟิสิกส์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ในปีการศึกษา 2547 กับปีการศึกษา 2548

ตารางที่ 6 การ เปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์วิชาฟิสิกส์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ในปีการศึกษา 2547 กับปีการศึกษา 2548

| ระดับผลการเรียน                        | ปีการศึกษา 2547 |        | ปีการศึกษา 2548 |        |
|--|-----------------|--------|-----------------|--------|
|  | จำนวนคน         | ร้อยละ | จำนวนคน         | ร้อยละ |
| 0                                      | 0               | 0      | 0               | 0      |
| 1.0                                    | 22              | 29.73  | 1               | 1.47   |
| 1.5                                    | 0               | 0      | 5               | 7.35   |
| 2.0                                    | 33              | 44.59  | 8               | 11.76  |
| 2.5                                    | 0               | 0      | 26              | 38.24  |
| 3.0                                    | 17              | 22.97  | 23              | 33.82  |
| 3.5                                    | 0               | 0      | 3               | 4.41   |
| 4.0                                    | 2               | 2.70   | 2               | 2.94   |
| ระดับผลการเรียนเฉลี่ย<br>( $\bar{X}$ ) | 1.99            |        | 2.60            |        |

ที่มา. งานประกันคุณภาพการศึกษาโรงเรียนสกลนครพัฒนศึกษา

## บทที่ 5

### สรุป อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ

#### 1. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.1 เพื่อสร้างและพัฒนาบทเรียนสำเร็จรูป วิชาฟิสิกส์ เรื่อง แบบจำลองอะตอม  
ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6

1.2 เพื่อศึกษาผลการใช้บทเรียนสำเร็จรูป วิชาฟิสิกส์ เรื่อง แบบจำลองอะตอม  
ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6

#### 2. สมมุติฐานของการวิจัย

ได้บทเรียนสำเร็จรูป วิชาฟิสิกส์ เรื่อง แบบจำลองอะตอม ชั้นมัธยมศึกษา  
ปีที่ 6 ที่มีประสิทธิภาพและผ่านเกณฑ์มาตรฐาน 80/80

นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ที่เรียนโดยใช้บทเรียนสำเร็จรูปประกอบ วิชา  
ฟิสิกส์ เรื่องแบบจำลองอะตอม มีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนสูงขึ้น

#### 3. วิธีดำเนินการวิจัย

การสร้างและพัฒนาบทเรียนสำเร็จรูปครั้งนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างและพัฒนา  
บทเรียนสำเร็จรูป วิชาฟิสิกส์ เรื่อง แบบจำลองอะตอม ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 เพื่อใช้  
ประกอบการเรียนการสอน ใช้ในการสอนซ่อมเสริมนักเรียน ให้นักเรียนยืมเพื่อศึกษา  
ค้นคว้าด้วยตนเอง เพื่อแก้ปัญหาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาฟิสิกส์ต่ำ ขอสรุปผลการ  
ดำเนินงาน ซึ่งผู้วิจัยได้ดำเนินการเป็น 2 ขั้นตอน ดังนี้

3.1 ขั้นสร้างและพัฒนาบทเรียนสำเร็จรูป วิชาฟิสิกส์ เรื่องแบบจำลอง  
อะตอม ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 แบ่งได้เป็น 3 ขั้นตอนย่อยได้ดังนี้

3.1.1 ขั้นการวิจัย โดยจัดสร้างและพัฒนาบทเรียนสำเร็จรูป วิชา



ฟิสิกส์ เรื่อง แบบจำลองอะตอม ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 แบบเส้นตรง และทดลองใช้เพื่อหาประสิทธิภาพแบบเดี่ยว แบบกลุ่มเล็ก และแบบภาคสนาม ในปีการศึกษา 2548 โดยตั้งเกณฑ์มาตรฐานประสิทธิภาพไว้ที่ระดับ 80/80

3.1.2 ขั้นพัฒนา โดยการนำบทเรียนสำเร็จรูปไปใช้จริงในการจัดการเรียนการสอนประกอบการเรียนซ่อมเสริม และให้นักเรียนได้ใช้ศึกษาด้วยตนเองเพิ่มเติม จำนวน 2 ห้อง นักเรียน 68 คน

3.1.3 ขั้นประเมินและเผยแพร่ หลังจากนำบทเรียนสำเร็จรูป วิชาฟิสิกส์ เรื่อง แบบจำลองอะตอม ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ไปใช้จริงแล้วใน 1 ภาคเรียน ได้ประเมินผลรวมเพื่อตรวจสอบความก้าวหน้าจากระดับคะแนนของนักเรียนที่ใช้บทเรียนสำเร็จรูปและจัดลงใน website เพื่อเผยแพร่

#### 4. สรุปผลการวิจัย

4.1 บทเรียนสำเร็จรูป วิชาฟิสิกส์ เรื่อง แบบจำลองอะตอม ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ที่สร้างขึ้นมีประสิทธิภาพ 82.86/81.38 สูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้ คือ 80/80

4.2 การเปรียบเทียบคะแนนทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียน พบว่า บทเรียนสำเร็จรูป วิชาฟิสิกส์ เรื่องแบบจำลองอะตอม ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ทุกเล่มมีคะแนนทดสอบหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 ซึ่งเป็นผลยืนยันได้ว่าบทเรียนสำเร็จรูปที่สร้างขึ้นมีประสิทธิภาพ สามารถนำไปใช้ในการเรียนการสอนในสถานการณ์จริงได้โดยดูได้จากผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนในปีการศึกษา 2548 มีระดับผล การเรียนเฉลี่ยสูงกว่า ปีการศึกษา 2547 เป็น 2.60 จาก 1.99 และผู้ได้รับระดับผลการเรียน 0 และ 1 ลดลง

#### 5. อภิปรายผลการวิจัย

5.1 บทเรียนสำเร็จรูป วิชา ฟิสิกส์ เรื่อง แบบจำลองอะตอม ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ในการทดลอง แบบ 1:1 มีค่า เท่ากับ 81.67/80 แบบกลุ่มเล็ก มีค่าเท่ากับ 83.44/81.30 และแบบภาคสนาม เท่ากับ 82.86/81.38 โดยรวมแล้วจะเห็นว่าบทเรียนสำเร็จรูป วิชาฟิสิกส์ เรื่อง แบบจำลองอะตอม ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ที่สร้างขึ้นมีประสิทธิภาพ 82.86/81.38 สูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้ คือ 80/80 เป็นไปตามสมมุติฐาน สอดคล้องกับผลการวิจัยของ กาญจนา เทนอิสสระ ซึ่งได้ทำการวิจัยเรื่อง การสร้างบทเรียนโปรแกรมวิชาเคมี เรื่อง การจัดทำเอกสารสำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ที่สร้างขึ้นมีประสิทธิภาพ 89.38/80.36

คมเพชร โภธิปัสสา ได้ทำการวิจัยเรื่อง การสร้างบทเรียนโปรแกรมวิชาวิทยาศาสตร์ เรื่อง เครื่องใช้ไฟฟ้า สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 ที่สร้างขึ้นแบบเส้นตรงมีประสิทธิภาพ 92.10/92.10 วีระพงศ์ วรพงศ์ทรัพย์ ได้ทำการวิจัยเรื่อง การสร้างบทเรียนสำเร็จรูป คอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง เทคโนโลยีมัลติมีเดีย ที่สร้างขึ้นมีประสิทธิภาพ 85.03/82.65 สูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนด นุตประวีร์ ประไพพิศ ได้ทำการวิจัยเรื่อง การพัฒนาบทเรียน สำเร็จรูป เรื่อง พระไตรปิฎก สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 มีค่าประสิทธิภาพ 81.00/82.23 และ ยงยุทธ สุวรรณนัง ได้ทำการวิจัยเรื่อง การวิจัยเรื่อง การสร้างบทเรียน สำเร็จรูป เรื่อง การเกษตรตามแนวทฤษฎีใหม่ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 พบว่า บทเรียนสำเร็จรูปที่สร้างขึ้นมีค่าประสิทธิภาพ 86.13/80.00

แต่อย่างไรก็ตามประสิทธิภาพดังกล่าวอาจมีความคลาดเคลื่อนอยู่บ้างเนื่องจากสาเหตุ

5.1.1 เป็นไปได้ที่นักเรียนบางคนไม่ทำตามลำดับขั้น และไม่มีความซื่อสัตย์ ต่อตนเอง อาจเปิดดูคำตอบก่อนลงมือทำ

5.1.2 เมื่อพบว่าคำตอบไม่ตรงกับคำตอบเฉลยอาจมีการแก้ไข

5.2 การเปรียบเทียบคะแนนทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียน พบว่า บทเรียน สำเร็จรูป วิชาฟิสิกส์ เรื่องแบบจำลองอะตอม ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ทุกเล่มมีคะแนนทดสอบ หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 จะเห็นว่า เมื่อนำบทเรียน สำเร็จรูป วิชาฟิสิกส์ เรื่องแบบจำลองอะตอม ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ประกอบการเรียนการสอน การสอนซ่อมเสริม และการให้นักเรียนยืมไปศึกษาด้วยตนเองของนักเรียน สามารถแก้ปัญหา นักเรียนที่มีระดับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนต่ำได้เป็นไปตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ นักเรียน มีความก้าวหน้าในการเรียนได้จริง ซึ่งยืนยันได้จากผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนในปีการศึกษา 2548 มีระดับผลการเรียนเฉลี่ยสูงกว่า ปีการศึกษา 2547 เป็น 2.60 จาก 1.99 ตามลำดับ และผู้ ได้รับระดับผลการเรียน 0 และ 1 ลดลง เป็นไปตามสมมุติฐาน สอดคล้องกับผลการวิจัยของ พัชรี ภัทรมูล ได้ทำการทดลองและประเมินผลการใช้บทเรียนแบบโปรแกรม เรื่อง สัตว์ สำหรับนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 5 ผลการทดสอบระหว่างคะแนนก่อนการทดลองและหลัง การทดลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 ซึ่งเป็นผลที่สามารถยืนยันได้ว่าบทเรียน โปรแกรมที่สร้างขึ้นสามารถนำไปใช้ในการเรียนการสอนในสถานการณ์จริงได้ เกษรา สุชีรัมย์ ได้ทำการวิจัยเรื่อง การใช้บทเรียนสำเร็จรูปแบบสาขา ในการเรียนสาระวิทยาศาสตร์หน่วย การเรียนรู้ บรรยากาศ ระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 พบว่า นักเรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 พิเชษฐ หาดิ ได้ทำการ วิจัยเรื่อง การศึกษาเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาอุปกรณ์ป้องกันไฟฟ้าแรงสูง ระหว่างการเรียนการสอนด้วยบทเรียนสำเร็จรูปกับการสอนบรรยายประกอบการใช้สื่อ ผลการวิจัยสรุปว่า ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนการสอนด้วยบทเรียนสำเร็จรูปสูงกว่าการสอน

บรรยายประกอบการใช้สื่อ อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.01 วีระพงศ์ วรพงศ์ทรัพย์ ได้ทำการวิจัยเรื่อง การสร้างบทเรียนสำเร็จรูปคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง เทคโนโลยีมัลติมีเดีย สามารถทำให้ผู้เรียนมีประสิทธิภาพทางการเรียนเพิ่มขึ้น (50.73) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อยู่ในระดับ 0.01 สามารถนำไปใช้ในการเรียนด้วยตนเองได้ นุตประวีร์ ประไพพิศ ได้ทำการวิจัยเรื่อง การพัฒนาบทเรียนสำเร็จรูป เรื่อง พระไตรปิฎก สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 พบว่า บทเรียนสำเร็จรูปเรื่อง พระไตรปิฎก ทำให้นักเรียนมีผลการเรียนรู้ทางการเรียนก่อนเรียนและหลังเรียนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับ 0.01 และ สุภชัย ศรีมันตะ ได้ทำการวิจัยเรื่อง การศึกษาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ความคิดเห็น และความคงทนในการเรียนรู้วิชาคณิตศาสตร์ เรื่อง ลำดับเลขคณิต ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 โดยการสอนเสริมด้วยบทเรียนโปรแกรม พบว่า คะแนนเฉลี่ยของผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 วิชาคณิตศาสตร์ เรื่องลำดับเลขคณิตหลังเรียนสูงกว่าคะแนนเฉลี่ยของการทดสอบก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญ 0.05

## 6. ข้อเสนอแนะ

### 6.1 ข้อเสนอแนะในการนำไปใช้ประโยชน์

6.1.1 ควรนำบทเรียนสำเร็จรูปที่พัฒนาขึ้น นำไปใช้ในการเรียนการสอนเพื่อแก้ปัญหาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนต่ำ ทั้งยังเป็นการปลูกฝังคุณธรรมจริยธรรม ในเรื่อง ความซื่อสัตย์ ความมีวินัยในตนเอง ให้นักเรียนเข้าใจและปฏิบัติตาม

6.1.2 บทเรียนสำเร็จรูป เป็นบทเรียนที่ใช้ซ่อมเสริมและศึกษาค้นคว้าด้วยตนเอง ดังนั้นจะใช้ได้ผลดีกับนักเรียนที่มีทักษะด้านการอ่าน มีสมาธิ และมีความตั้งใจ และเป็นการส่งเสริมการรักการอ่าน

6.1.3 บทเรียนสำเร็จรูป สามารถแก้ปัญหาให้นักเรียนที่สอบไม่ผ่านจุดประสงค์ ให้ผ่านจุดประสงค์การเรียนรู้นั้น

ใช้แบบเรียนสำเร็จรูปในเวลาที่ครูไม่สามารถเข้าสอนแทนได้ หรือใช้ในการแก้ปัญหาการขาดแคลนครูโดยนักเรียนสามารถศึกษาค้นคว้าด้วยตนเอง

บทเรียนสำเร็จรูป จะทำให้นักเรียนที่ไม่มีความมั่นใจในการเรียน เกิดความมั่นใจ เมื่อตอบผิดก็ไม่ต้องเกรงว่าจะมีผู้เยาะเย้ย สามารถแก้ไขด้วยตนเองได้

## 6.2 ข้อเสนอแนะในการศึกษาค้นคว้าต่อไป

6.2.1 ควรมีการสร้างบทเรียนสำเร็จรูปในเนื้อหาวิชาอื่นๆ ที่ครูผู้สอนประสบปัญหาการขาดการเรียนซ่อมเสริม หรือเวลาเรียนไม่พอ

6.2.2 บทเรียนสำเร็จรูปใช้เป็นสื่อซ่อมเสริมและแก้ปัญหาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนต่ำที่ดีมาก ดังนั้นควรมีการสร้างและพัฒนา และศึกษาผลการสอนโดยใช้บทเรียนสำเร็จรูป ในทุกรายวิชาอื่น ๆ

6.2.3 เพื่อใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาครูผู้สอนในการสร้างและพัฒนาสื่อการเรียนการสอนโดยใช้บทเรียนสำเร็จรูปเป็นสื่อ