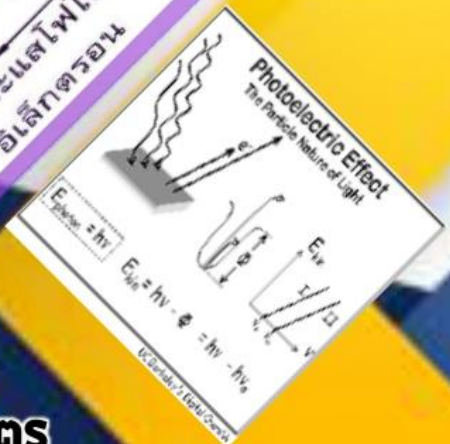
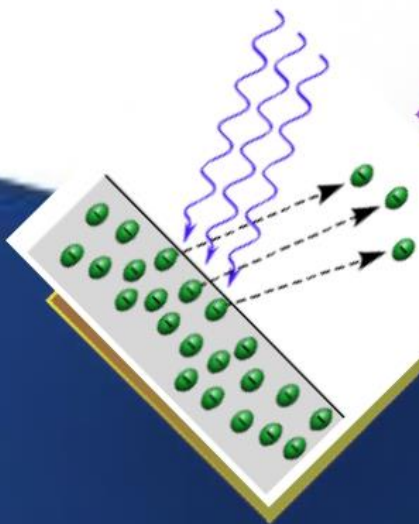


แบบฝึกทักษะการแก้โจทย์ปัญหาวิชาฟิสิกส์ ตามกระบวนการแก้ปัญหาของโพลยา
ชุด ปรัชญาการณิฟิโตอิเล็กทริก



เล่มที่ 2
ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6

ฟังก์ชันงานและพลังงานจลน์สูงสุด



นางสมถวิล ทวีโคตร
ครูชำนาญการพิเศษ

โรงเรียนมุกดาหาร อำเภอเมืองมุกดาหาร จังหวัดมุกดาหาร
สังกัด สำนักงานเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษามุกดาหาร

แบบฝึกทักษะการแก้โจทย์ปัญหาวิชาฟิสิกส์
ตามกระบวนการแก้ปัญหาของโพลยา
ชุด ปรัชญาการณโไฟโตอิเล็กทรอนิกส์
เรื่อง ฟังก์ชันงานและพลังงานจลน์สูงสุด

เล่มที่ 2

ฟังก์ชันงานและพลังงานจลน์สูงสุด

กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
โรงเรียนมุกดาหาร อำเภอเมืองมุกดาหาร จังหวัดมุกดาหาร
สำนักงานเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษามุกดาหาร

คำนำ

แบบฝึกทักษะการแก้โจทย์ปัญหาตามกระบวนการแก้ปัญหาของโพลยา ชุด ปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก เรื่อง ฟังก์ชันงานและพลังงานจลน์สูงสุด สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ชุดนี้ จัดทำขึ้นเพื่อใช้ประกอบการเรียนการสอนวิชาฟิสิกส์ 6 ว33206 กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551(ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560) โดยเน้นเนื้อหาที่เป็นการคำนวณสอดแทรกรูปภาพและเนื้อหาที่อ่านแล้วเข้าใจง่าย การที่นักเรียนจะสามารถคำนวณโจทย์ฟิสิกส์ให้ประสบความสำเร็จได้นั้น ผู้เรียนต้องมีความมุ่งมั่น มีหลักการในการฝึกทักษะโจทย์หลายๆแบบ ซ้ำหลายๆครั้ง เพื่อให้ผู้เรียนสามารถแก้โจทย์ปัญหาแข่งขันกับเวลาได้อย่างรวดเร็วและถูกต้อง แบบฝึกทักษะการแก้โจทย์ปัญหาตามกระบวนการแก้ปัญหาของโพลยา ชุด ปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ชุดนี้ ได้จัดทำขึ้นจำนวน 2 เล่ม ประกอบด้วย

เล่มที่ 1 เรื่อง ควอนตัมของแสงและโฟตอน

เล่มที่ 2 เรื่อง ฟังก์ชันงานและพลังงานจลน์สูงสุด

ทั้งนี้ เพื่อให้การพัฒนาทักษะกระบวนการแก้โจทย์ปัญหาวิชาฟิสิกส์ เป็นไปตามเป้าหมาย นักเรียนควรปฏิบัติตามขั้นตอนการใช้แบบฝึกทักษะการแก้โจทย์ปัญหาตามกระบวนการแก้ปัญหาของโพลยา ชุด ปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 อย่างครบถ้วน

ผู้เขียนหวังเป็นอย่างยิ่งว่า แบบฝึกทักษะการแก้โจทย์ปัญหาตามกระบวนการแก้ปัญหาของโพลยา ชุด ปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 เล่มที่ 2 เรื่อง ฟังก์ชันงานและพลังงานจลน์สูงสุด จะให้ประโยชน์แก่ผู้เรียนที่ต้องการฝึกเสริมทักษะการแก้โจทย์ปัญหาวิชาฟิสิกส์ รู้หลักการในการคำนวณโจทย์ เพื่อเป็นพื้นฐานและเป็นประโยชน์ ในการฝึกเสริมทักษะการคำนวณในเรื่องอื่นๆสามารถนำความรู้ไปประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์ทั้งต่อตนเองและผู้อื่น

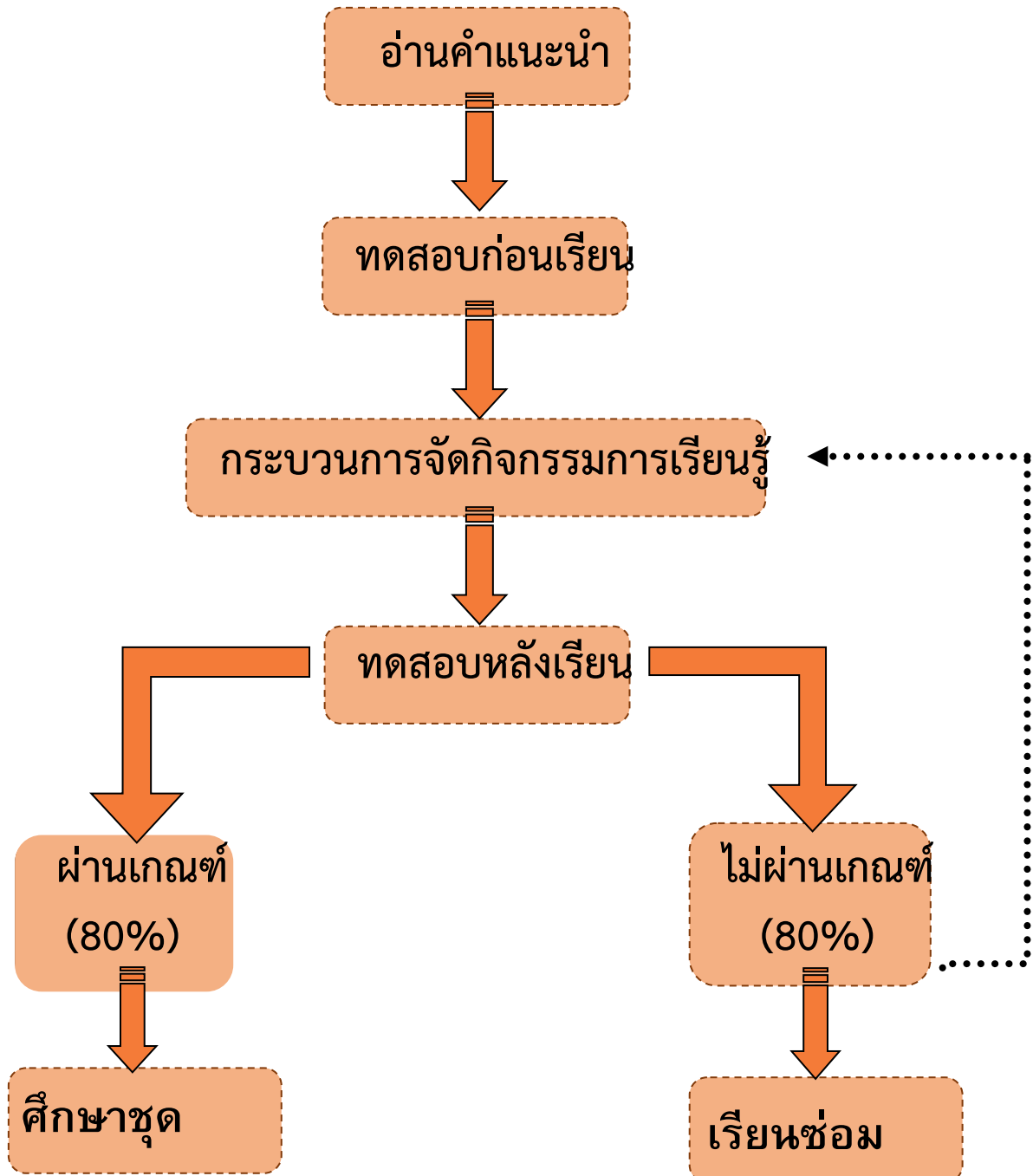
นางสมถวิล ทวีโคตร

ครู วิทยฐานะ ครูชำนาญการพิเศษ

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
คำนำ	ก
ลำดับชั้นการเรียนรู้ โดยใช้แบบฝึกทักษะการแก้โจทย์ปัญหา	1
คำชี้แจงสำหรับครู.....	2
คำชี้แจงสำหรับนักเรียน.....	3
สาระสำคัญ ผลการเรียนรู้	4
แบบทดสอบก่อนเรียน.....	5
กระดาษคำตอบแบบทดสอบก่อนเรียน.....	7
ใบความรู้.....	8
ขั้นตอนการแก้โจทย์ปัญหา.....	11
ตัวอย่างแบบฝึกทักษะการแก้โจทย์ปัญหา.....	12
แบบฝึกทักษะการแก้โจทย์ปัญหา.....	19
แบบทดสอบหลังเรียน.....	27
กระดาษคำตอบแบบทดสอบหลังเรียน	29
เกณฑ์การให้คะแนนในแบบฝึกทักษะ.....	30
ตารางบันทึกคะแนน.....	31
แบบบันทึกผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน	32
บรรณานุกรม.....	33
ภาคผนวก.....	34
เฉลยแบบฝึกทักษะการแก้โจทย์ปัญหา.....	35
เฉลยแบบทดสอบก่อนเรียน-หลังเรียน.....	43

ลำดับขั้นตอนการเรียนรู้
โดยใช้แบบฝึกทักษะการแก้โจทย์ปัญหาตามกระบวนการแก้ปัญหาของโพลยา
ชุด ปรัชญาการณโฑโตอิเล็กทริก



คำชี้แจงสำหรับครู

เมื่อครูผู้สอนนำแบบฝึกทักษะการแก้โจทย์ปัญหา ตามกระบวนการแก้ปัญหาของโพลยา ชุด ปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 เล่มนี้ไปใช้ในการจัดกิจกรรมการเรียนการสอน ควรมีแนวปฏิบัติดังนี้

1. ครูต้องชี้แจงขั้นตอนการเรียนรู้ โดยใช้แบบฝึกทักษะการแก้โจทย์ปัญหาดังแต่ต้นจนจบให้นักเรียนเข้าใจก่อน ดำเนินกิจกรรมต่างๆ
2. ให้ทดสอบความรู้ก่อนเรียนของนักเรียน เพื่อวัดความรู้พื้นฐานของนักเรียนเป็นรายบุคคล
3. จัดกิจกรรมการเรียนการสอน โดยใช้แบบฝึกทักษะการแก้โจทย์ปัญหา ตามกระบวนการแก้ปัญหาของโพลยา ชุด ปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 เล่มนี้ ควบคู่กับแผนการจัดการเรียนรู้
4. ขณะปฏิบัติกิจกรรม ครูคอยแนะนำให้ความรู้แก่นักเรียนอย่างใกล้ชิด กระตุ้นให้นักเรียนเรียนรู้อย่างตั้งใจ และเปิดโอกาสให้นักเรียนได้ซักถามข้อสงสัย ในเนื้อหาที่ไม่เข้าใจ
5. เมื่อนักเรียนทำแบบฝึกทักษะเสร็จ ให้นักเรียนตรวจคำตอบจากแบบเฉลยและบันทึกคะแนนลงในแบบบันทึกคะแนน
6. การตรวจนับคะแนนแบบทดสอบหลังเรียน ใช้เกณฑ์ร้อยละ 80 ถ้านักเรียนทำคะแนนได้น้อยกว่าร้อยละ 80 ควรให้คำแนะนำและจัดสอนซ่อมเสริม

คำชี้แจงสำหรับนักเรียน

แบบฝึกทักษะชุดนี้ เป็นเอกสารที่ใช้ประกอบการเรียนที่นักเรียนสามารถศึกษาได้ด้วยตนเอง ให้นักเรียนอ่านคำแนะนำ ทำตามคำชี้แจงแต่ละขั้นตอนตั้งแต่ต้นจนจบ นักเรียนจะได้รับความรู้อย่างครบถ้วนโดยปฏิบัติตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. ศึกษาจุดประสงค์การเรียนรู้ เพื่อให้ทราบว่าเมื่อจบแบบฝึกทักษะแต่ละชุดแล้ว นักเรียนสามารถเรียนรู้อะไรได้บ้าง
2. ทำแบบทดสอบก่อนเรียน แบบปรนัยจำนวน 10 ข้อ ลงในกระดาษคำตอบ
3. ศึกษาใบความรู้ ขั้นตอนการแก้โจทย์ปัญหาและตัวอย่างการแก้โจทย์ปัญหา
4. ทำแบบฝึกทักษะตามที่กำหนดไว้ โดยแสดงวิธีการคำนวณอย่างละเอียด ลงในแบบฝึกทักษะ นักเรียนแต่ละคนต้องมีความซื่อสัตย์ต่อตนเองไม่เปิดดูเฉลยก่อนเรียน-หลังเรียน และเฉลยแบบฝึกทักษะ เมื่อทำเสร็จแล้วจึงตรวจคำตอบกับเฉลยแบบฝึกทักษะการแก้โจทย์ปัญหา
5. ทำแบบทดสอบหลังเรียน จำนวน 10 ข้อ เพื่อวัดความรู้ความเข้าใจอีกครั้ง
6. ตรวจคำตอบของแบบทดสอบก่อนเรียน-หลังเรียน จากเฉลยแบบทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียน
7. นักเรียนต้องทำแบบทดสอบหลังเรียน ให้ได้ 8 ข้อขึ้นไป จึงจะผ่านเกณฑ์ และถ้านักเรียนไม่ผ่านเกณฑ์ตามที่กำหนดไว้ ให้นักเรียนทบทวนเนื้อหาและทำแบบฝึกทักษะใหม่อีกครั้ง หรือเรียนซ่อมเสริม
8. ถ้านักเรียนและผู้สนใจต้องการข้อมูลหรือเนื้อหาเพิ่มเติมจากโจทย์ปัญหาทั้งหมด สามารถค้นคว้าได้จากบรรณานุกรมที่ให้ไว้



สาระการเรียนรู้/ผลการเรียนรู้

สาระการเรียนรู้ แบบฝึกทักษะการแก้โจทย์ปัญหาตามกระบวนการแก้ปัญหาของโพลยา เล่มที่ 2
เรื่อง ฟังก์ชันงานและพลังงานจลน์สูงสุด

1. สาระการเรียนรู้

ปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก

- ฟังก์ชันงานและพลังงานจลน์สูงสุดของโฟโตอิเล็กตรอน

2. ผลการเรียนรู้

อธิบายปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริกและคำนวณพลังงานโฟตอน พลังงานจลน์ของโฟโตอิเล็กตรอนและฟังก์ชันงานของโลหะ

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. นักเรียนสามารถอธิบายเกี่ยวกับฟังก์ชันงานและพลังงานจลน์สูงสุดของโฟโตอิเล็กตรอนได้
2. นักเรียนสามารถคำนวณเกี่ยวกับฟังก์ชันงานและพลังงานจลน์สูงสุดของโฟโตอิเล็กตรอนได้
3. นักเรียนมีความรับผิดชอบ สนใจ ใฝ่รู้ใฝ่เรียนส่งงานตามเวลาที่กำหนด

3. สาระสำคัญ

เป็นปรากฏการณ์การเกิดอิเล็กตรอนโดยการฉายแสงกระทบกับแผ่นโลหะ แล้วทำให้อิเล็กตรอนหลุดจากแผ่นโลหะ เฮิร์ตซ์ (Heinrich Hertz) เป็นคนแรกที่ได้ทำการทดลองปรากฏการณ์นี้แล้วได้ตั้งชื่ออิเล็กตรอนที่หลุดจากแผ่นโลหะว่า โฟโตอิเล็กตรอน (Photoelectron)

สมการการคำนวณโฟโตอิเล็กตรอน

$$1. E_{k_{\max}} = h\nu - W$$

$$2. E_{k_{\max}} = eV_s \quad \text{สมการทั้งสามพลังงานทุกตัวมีหน่วยเป็นจูล}$$

$$3. W = h\nu_0$$

เนื่องจากจูลเป็นหน่วยที่ใหญ่เกินไป สำหรับการพิจารณาพลังงานของอิเล็กตรอน ดังนั้นการคำนวณพลังงานของอิเล็กตรอนจึงนิยมใช้พลังงานในหน่วยอิเล็กตรอนโวลต์ (eV) โดย

$$\text{กำหนดให้} \quad \text{พลังงาน } 1 \text{ eV} = 1.6 \times 10^{-19} \text{ Coulomb} \times \text{Volt} = 1.6 \times 10^{-19} \text{ CV}$$

$$\text{หรือ } 1 \text{ eV} = 1.6 \times 10^{-19} \text{ จูล}$$

ข้อสังเกต การคำนวณหาพลังงานจลน์จากสมการ $E_{k_{\max}} = eV_s$ แยกการพิจารณาได้ดังนี้

1. ถ้าแทน e ด้วยค่าประจุ $1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$ จะได้ $E_{k_{\max}}$ ในหน่วยจูล
2. ถ้าแทน e ด้วยเลข 1 จะได้ $E_{k_{\max}}$ ในหน่วยโวลต์



แบบทดสอบก่อนเรียน

เรื่อง ฟังก์ชันงานและพลังงานจลน์สูงสุด

คำชี้แจง

ให้นักเรียนทำเครื่องหมาย \times ลงในช่อง ใต้ตัวอักษร 1 2 3 และ 4 ที่เป็นคำตอบที่ถูกต้องที่สุดเพียงคำตอบเดียว บนกระดาษคำตอบ จำนวน 10 ข้อ

- เมื่อฉายความยาวคลื่น 7.25×10^{-7} เมตร ลงบนแผ่นโลหะชนิดหนึ่งจะพอดีทำให้อิเล็กตรอนหลุดได้ ถ้าเปลี่ยนความยาวคลื่นของแสงเป็น 5.5×10^{-7} เมตร ค่าพลังงานยึดเหนี่ยวของโลหะนี้มีค่าเท่าใด ในหน่วยอิเล็กตรอนโวลต์

1. 1.69 eV	2. 2.29 eV
2. 3.369 eV	4. 4.29 eV
- จากปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กตรอน เมื่อให้แสงที่มีพลังงาน 2.0 อิเล็กตรอนโวลต์ตกกระทบโลหะชนิดหนึ่ง ปรากฏว่าต้องใช้ความต่างศักย์ระหว่างคาโทดกับอโนดในการหยุดยั้งอิเล็กตรอนเท่ากับ 0.65 โวลต์ ถ้าให้แสงที่มีพลังงาน 4.00 eV ตกกระทบโลหะชนิดเดียวกันจะต้องใช้ความต่างศักย์หยุดยั้งกี่โวลต์

1. 0.64 โวลต์	2. 1.05 โวลต์
3. 2.65 โวลต์	4. 5.65 โวลต์
- เมื่อฉายความยาวคลื่น 7.25×10^{-7} เมตร ลงบนแผ่นโลหะชนิดหนึ่งจะพอดีทำให้อิเล็กตรอนหลุดได้ ถ้าเปลี่ยนความยาวคลื่นของแสงเป็น 5.5×10^{-7} เมตร ค่าพลังงานจลน์สูงสุดของโฟโตอิเล็กตรอนมีค่าเท่าใด ในหน่วยอิเล็กตรอนโวลต์

1. 0.02 eV	2. 0.56 eV
3. 1.55 eV	4. 2.84 eV
- เมื่อให้แสงมีความถี่ตกกระทบบนผิวของทองซึ่งมีพลังงานยึดเหนี่ยวเท่ากับ 4.8 eV แล้วทำให้เกิดโฟโตอิเล็กตรอน ถ้าความต่างศักย์หยุดยั้งเท่ากับ 8.4 eV จะไม่มีกระแสอิเล็กตรอนไหล จงหาความถี่ของแสงที่ใช้

1. 0.5×10^{-34} เฮิรตซ์	2. 2.0×10^{34} เฮิรตซ์
3. 0.9×10^{15} เฮิรตซ์	4. 3.2×10^{15} เฮิรตซ์
- ในปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก ถ้าให้แสงที่มีความถี่ 8×10^{14} เฮิรตซ์ ตกกระทบชนิดหนึ่งปรากฏว่าต้องใช้ความต่างศักย์ในการหยุดยั้งโฟโตอิเล็กตรอนที่หลุดออกมาเท่ากับ 1.3 โวลต์ พลังงานของโลหะที่ใช้ในการทดลองนี้มีค่าเท่าใด

1. 2.0 eV	2. 2.5 eV
3. 4.3 eV	4. 4.6 eV

6. นัยน์ตามนุษย์สามารถรับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าพลังงาน 10^{-18} จูลได้ ถ้าคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่พลังงานนี้ มีความยาวคลื่น 8×10^{-7} เมตร โฟตอนที่รับได้มีจำนวนเท่าใด
1. 1 โฟตอน
 2. 2 โฟตอน
 3. 3 โฟตอน
 4. 4 โฟตอน
7. เมื่อให้แสงที่มีความยาวคลื่น 450 นาโนเมตร ตกกระทบผิวโลหะชนิดหนึ่ง ปรากฏว่าต้องใช้ความต่างศักย์ในการหยุดหยั้งโฟโตอิเล็กตรอนเท่ากับ 1.5 โวลต์ ถ้าต้องการให้อิเล็กตรอนหลุดออกจากผิวโลหะได้พอดี จะต้องใช้แสงที่มีความยาวคลื่นเท่าใด
1. 990 นาโนเมตร
 2. 660 นาโนเมตร
 3. 330 นาโนเมตร
 4. 220 นาโนเมตร
8. เมื่อฉายรังสีอุลตราไวโอเล็ตที่มีความยาวคลื่น 400 นาโนเมตร ไปที่ผิวโลหะ ชนิดหนึ่งที่มีพลังงานยึดเหนี่ยวเท่ากับ 1.8 อิเล็กตรอนโวลต์ โฟโตอิเล็กตรอนที่หลุดจากผิวโลหะมีพลังงานจลน์เท่าไร
1. 0.5 eV
 2. 1.3 eV
 3. 2.5 eV
 4. 5.8 eV
9. โลหะชนิดหนึ่งมีค่าพลังงานยึดเหนี่ยวเท่ากับ 0.2 อิเล็กตรอนโวลต์ ถ้าที่แสงที่มีความยาว 100 nm มากระทบพลังงานจลน์สูงสุดของโฟโตอิเล็กตรอนที่ออกมาจะเป็นกี่อิเล็กตรอนโวลต์ (eV)
1. 12.2 eV
 2. 10.4 eV
 3. 14.4 eV
 4. 18.4 eV
10. กำหนดให้ฟังก์ชันงานของโลหะชนิดหนึ่ง 4.80 eV จะต้องฉายแสงที่มีความยาวคลื่นเท่าใดจึงจะทำให้ อิเล็กตรอนหลุดจากขั้วแคโทด ที่ทำจากโลหะนั้นแล้วสามารถไปถึงขั้วแอโนดได้พอดี เมื่อ ศักย์ไฟฟ้าที่แอโนดต่ำกว่าแคโทดเท่ากับ 1.80 โวลต์
1. 125 นาโนเมตร
 2. 156 นาโนเมตร
 3. 167 นาโนเมตร
 4. 187 นาโนเมตร

กระดาษคำตอบแบบทดสอบก่อนเรียน
เรื่อง ฟังก์ชันงานและพลังงานจลน์สูงสุด

ชื่อ.....นามสกุล.....ชั้น.....เลขที่.....

ข้อที่ \ ตัวเลือก	1	2	3	4
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				

คะแนนที่ได้/คะแนนเต็ม
...../.....

ลงชื่อ.....ผู้ตรวจ
(.....)
วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

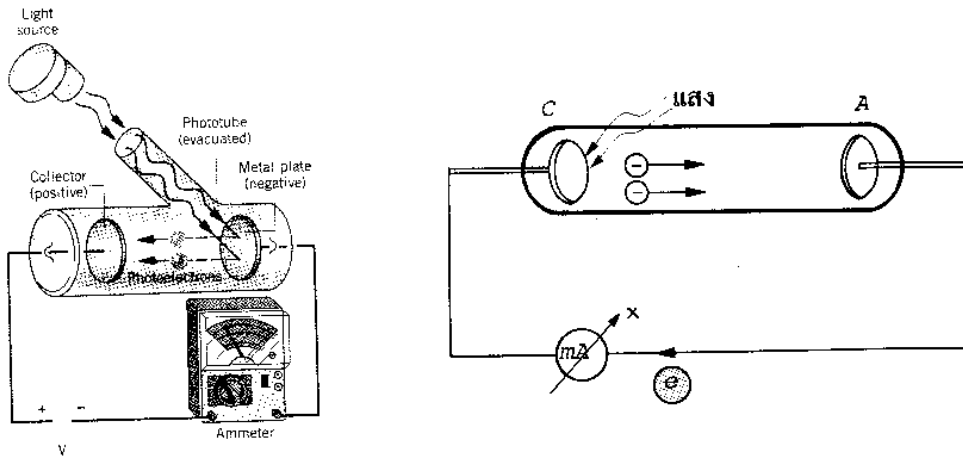
ใบความรู้
เรื่อง ฟังก์ชันงานและพลังงานจลน์สูงสุด

ฟังก์ชันงานและพลังงานจลน์สูงสุด

ปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กตรอน มีรายละเอียดดังนี้

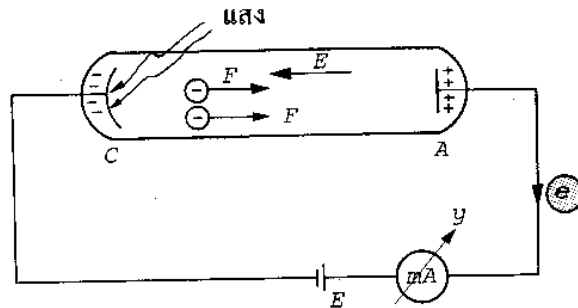
1. การหากระแสอิเล็กตรอน

จากรูปที่ 1 ให้แสงกระทบกับแผ่นอิมิตเตอร์ C จะทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกจากแผ่นอิมิตเตอร์ C รั้งกระทบกับแผ่นคอลเล็กเตอร์ A ทำให้เกิดกระแสอิเล็กตรอนสมมติว่ามีลิลีแอมมิเตอร์ mA วัดค่ากระแสได้เท่ากับ I_x



2. การหากระแสอิเล็กตรอนทั้งหมด

เนื่องจากอิเล็กตรอนที่หลุดออกจากแผ่นอิมิตเตอร์บางตัววิ่งไม่ถึงแผ่นคอลเล็กเตอร์ จึงทำให้กระแสอิเล็กตรอนที่อ่านได้จากมิลลิแอมมิเตอร์นั้นมีค่าน้อยกว่ากระแสทั้งหมดของอิเล็กตรอนที่หลุดออกจากอิมิตเตอร์ การหากระแสอิเล็กตรอนทั้งหมดเราสามารถหาได้โดยการต่อเซลล์ไฟฟ้าเข้ากับวงจรโฟโตอิเล็กตรอนเพื่อทำให้เกิดสนามไฟฟ้าในการดึงอิเล็กตรอนให้วิ่งจากอิมิตเตอร์มายังคอลเล็กเตอร์ให้หมด

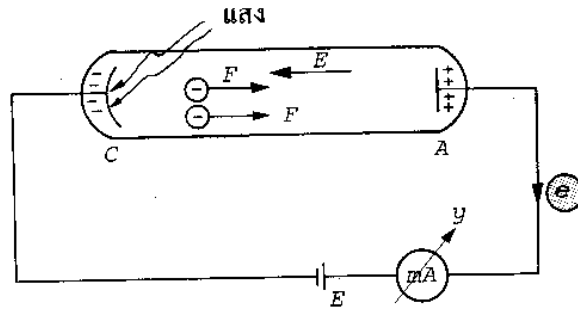


รูปที่ 2 การวัดค่ากระแสอิเล็กตรอนทั้งหมด

จากรูปที่ 2 เมื่อให้แสงกระทบกับแผ่นอิมิตเตอร์ C อิเล็กตรอนจะหลุดออกจากแผ่นอิมิตเตอร์และวิ่งในสนามไฟฟ้าด้วยแรง F ทำให้มาสะสมที่แผ่นคอลเล็กเตอร์ A กรณีนี้ความต่างศักย์ระหว่าง AC เป็นบวกและสมมติว่าในกรณีนี้มีลิสมิเตอร์วัดค่ากระแสได้สูงสุด I_y ความต่างศักย์เป็น V_y

3) การหาพลังงานจลน์สูงสุดของอิเล็กตรอน

อิเล็กตรอนตัวแรกที่วิ่งมาถึงแผ่นคอลเล็กเตอร์ A จะเป็นอิเล็กตรอนที่มีพลังงานจลน์สูงสุด เราสามารถหาพลังงานจลน์สูงสุดของอิเล็กตรอนตัวนี้ได้ โดยการต่อเซลล์ไฟฟ้าต้านการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนจนกระทั่งกระแสที่อ่านได้จากมิลลิแอมมิเตอร์เป็นศูนย์ก็สามารถหาพลังงานจลน์สูงสุดของอิเล็กตรอนได้



รูปที่ 3 การหาพลังงานจลน์สูงสุดของอิเล็กตรอน

จากวงจรรูปที่ 3 ค่อยๆ ทำการลดค่าเคลื่อนแรงไฟฟ้า ทำให้ความต่างศักย์ระหว่าง A และ C ลดลงจนเป็นศูนย์จากนั้นจึงทำการสลับขั้วเซลล์ไฟฟ้าดังรูป และทำการปรับค่าแรงไฟฟ้าจนกระทั่ง กระแสที่อ่านได้จากมิลลิแอมมิเตอร์เป็นศูนย์ ขณะนั้นแรงเคลื่อนไฟฟ้าเท่ากับ V_S จะได้ความต่างศักย์ V_{AC} เป็นลบ

หาพลังงานจลน์สูงสุดของอิเล็กตรอนจาก

$$\text{ผลรวมพลังงานที่ C} = \text{ผลรวมพลังงานที่ A}$$

$$\begin{aligned} \text{แทนค่า} \quad (-e)VC + &= (-e)VA \\ &= e(V_C - V_A) \end{aligned}$$

$$\text{นั่นคือ} \quad Ek_{\max} = eV_S$$

ความต่างศักย์ระหว่าง AC ขณะที่กระแสอิเล็กตรอนเป็นศูนย์เรียกว่า ความต่างศักย์หยุดยั้ง (Stopping Potential V_S)

เมื่อโฟตอนกระทบกับแผ่นโลหะมันจะจ่ายพลังงานให้แก่อะตอมในโลหะเพื่อที่จะดึงให้อิเล็กตรอนหลุดพ้นจากผิวโลหะ พลังงานที่จ่ายจะต้องมีค่าเท่ากับพลังงานยึดเหนี่ยวของโลหะที่มีต่ออิเล็กตรอนซึ่งเรียกว่า พลังงานยึดเหนี่ยว (Binding Energy หรือ Work Function ใช้สัญลักษณ์ W) และพลังงานส่วนที่เหลือจะกลายเป็นพลังงานจลน์สูงสุดของอิเล็กตรอน (Ek_{\max})

ถ้าแสงที่ตกกระทบแผ่นโลหะมีความถี่ กระทบแผ่นโลหะที่มีพลังงานยึดเหนี่ยว W และให้อิเล็กตรอนหลุดออกมาด้วยพลังงานจลน์สูงสุด Ek_{\max} จะได้ความสัมพันธ์ตามทฤษฎีของโฟตอนดังนี้

$$\begin{aligned} hf &= W + Ek_{\max} \\ Ek_{\max} &= hf - W \end{aligned}$$

ในกรณีที่แสงมีความถี่ต่ำจนกระทั่ง $hf < W$ อิเล็กตรอนจะไม่หลุดจากผิว โลหะและกรณีที่แสงมีความถี่พอดีที่ทำให้อิเล็กตรอนเริ่มหลุดแสดงว่า $hf = W$ ความถี่นี้เรียกว่า ความถี่ขีดเริ่ม (Threshold Frequency ใช้สัญลักษณ์ f_0)

$$\text{ดังนั้นจะได้} \quad hf_0 = W$$

จากการทดลอง เราหาพลังงานจลน์สูงสุดของอิเล็กตรอน (E_{kmax}) ได้จากความต่างศักย์หยุดยั้ง (V_S) ดังนั้นสมการพลังงานจลน์สูงสุดของอิเล็กตรอนเขียนใหม่ได้

$$E_{kmax} = e V_S = hf - W$$

หรือ

$$E_{\text{แสง}} = W + E_k$$

$$W + E_k = \frac{hC}{e\lambda}$$

สมการการคำนวณโฟโตอิเล็กตรอน

1. $E_{kmax} = h$
2. $E_{kmax} = eV_S$
3. $W = hf_0$

สมการทั้งสามพลังงานทุกตัวมีหน่วยเป็นจูล

เนื่องจากจูลเป็นหน่วยที่ใหญ่เกินไป สำหรับการพิจารณาพลังงานของอิเล็กตรอน ดังนั้นการคำนวณพลังงานของอิเล็กตรอนจึงนิยมใช้พลังงานในหน่วยอิเล็กตรอนโวลต์ (eV) โดย

กำหนดให้ พลังงาน 1 eV = 1.6×10^{-19} Coulomb \times Volt = 1.6×10^{-19} CV

หรือ 1 eV = 1.6×10^{-19} จูล

ข้อสังเกต การคำนวณหาพลังงานจลน์จากสมการ $E_{kmax} = eV_S$ แยกการพิจารณาได้ดังนี้

1. ถ้าแทน e ด้วยค่าประจุ 1.6×10^{-19} C จะได้ E_{kmax} ในหน่วยจูล
2. ถ้าแทน e ด้วยเลข 1 จะได้ E_{kmax} ในหน่วยโวลต์



ขั้นตอนการแก้โจทย์ปัญหา

การแก้โจทย์ปัญหามีขั้นตอนดังนี้

ขั้นที่ 1 ทำความเข้าใจปัญหา

อ่านสถานการณ์และเขียนรูป ตามสถานการณ์ (ถ้ามี)
พิจารณาว่าสถานการณ์กำหนดให้อะไรมา เขียนออกมาในรูปของตัวแปรของค่านั้น
วิเคราะห์ว่าต้องการหาอะไร (คำตอบ) เขียนออกมาในรูปของตัวแปรของค่านั้น

ขั้นที่ 2 วางแผนแก้ปัญหา

เลือกสมการ ที่สัมพันธ์กับสิ่งที่สถานการณ์ให้หา หรือกำหนด
เขียนออกมาในรูปของตัวแปรของค่านั้น

ขั้นที่ 3 ดำเนินการแก้ปัญหา

ดำเนินการตามแผนที่วางไว้เพื่อให้ได้คำตอบของปัญหา โดยใช้ขั้นตอนทางคณิตศาสตร์

ขั้นที่ 4 ตรวจสอบคำตอบ

ตรวจสอบความถูกต้องในขั้นตอนต่าง ๆ แล้วตอบคำถามทวนสถานการณ์



ตัวอย่างแบบฝึกทักษะการแก้โจทย์ปัญหา

ตัวอย่างที่ 1

ในการทดลองเรื่องปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก ให้แสงซึ่งมีความยาวคลื่น 4×10^{-7} เมตร ตกกระทบผิวโลหะซึ่ง ถ้าต้องการจะให้อิเล็กตรอนหลุดจากผิวโลหะได้นั้น จะต้องใช้พลังงานอย่างน้อยที่สุดเท่ากับ 3.2×10^{-19} จูล โฟโตอิเล็กตรอนที่หลุดออกมาจะมี พลังงานจลน์มากที่สุดคืออิเล็กตรอน โวลต์

วิธีทำ ขั้นที่ 1 ทำความเข้าใจปัญหา

เขียนรูปตามสถานการณ์ (ถ้ามี)

พิจารณาส่งที่กำหนดให้แล้วเขียนออกมาในรูปของสัญลักษณ์ คือ

ข้อความจากโจทย์	กำหนดเป็นตัวแปร
พลังงานยึดเหนี่ยว	$W = 3.2 \times 10^{-19} \text{ J} = \frac{3.2 \times 10^{-19}}{1.6 \times 10^{-19}} \text{ eV} = 20 \text{ eV}$
ความยาวคลื่น	$\lambda = 4 \times 10^{-7} \text{ m}$

วิเคราะห์สิ่งที่ให้หา คือ หาพลังงานจลน์สูงสุด ในหน่วยอิเล็กตรอนโวลต์

ขั้นที่ 2 วางแผนแก้ปัญห

วิธีการที่ใช้แก้ปัญห


หาพลังงานจลน์สูงสุด ในหน่วยอิเล็กตรอนโวลต์ จากสมการ



$$W + E_k = \frac{hC}{e\lambda}$$

ขั้นที่ 3 ดำเนินการแก้ปัญหา

นักเรียนแก้ปัญหาตามแผนที่วางไว้ในขั้นที่ 2

 ดำเนินการโดยใช้ขั้นตอนทางคณิตศาสตร์

หา พลังงานจลน์สูงสุด

จากสมการ

$$W + E_k = \frac{hC}{e\lambda}$$


แทนค่า จะได้

$$2.0 + V_0 = \frac{(6.6 \times 10^{-34})(3 \times 10^8)}{(1.6 \times 10^{-19})(4 \times 10^{-7})}$$

$$2.0 + E_k = 3.09$$

$$E_k = 1.09 \text{ eV}$$

ขั้นที่ 4 ตรวจสอบคำตอบ


 ตอบคำถามทวนสถานการณ์


ตอบ โฟโตอิเล็กตรอนที่หลุดออกมาหลุดจากผิวโลหะจะมี พลังงานจลน์มากที่สุด เท่ากับ 1.09 อิเล็กตรอนโวลต์

ตัวอย่างที่ 2

กำหนดให้ค่าพลังงานยึดเหนี่ยวของแผ่นทองแดงเท่ากับ 4.2 อิเล็กตรอนโวลต์ ต้องฉายแสงที่มีความยาวคลื่นกี่นาโนเมตร จึงเกิดปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก

วิธีทำ ขั้นที่ 1 ทำความเข้าใจปัญหา

 เขียนรูปตามสถานการณ์ (ถ้ามี)

 พิจารณาสถานการณ์ที่กำหนดให้แล้วเขียนออกมาในรูปของสัญลักษณ์ คือ

ข้อความจากโจทย์	กำหนดเป็นตัวแปร
พลังงานยึดเหนี่ยวของแผ่นทองแดง	$W = 4.2 \text{ eV}$
เกิดโฟโตอิเล็กตรอนพอดี แสดงว่าพลังงานจลน์ของโฟโตอิเล็กตรอนมีค่าเป็น 0	$E_k = 0$

 วิเคราะห์สิ่งที่ให้หา คือ $\lambda = ?$

ขั้นที่ 2 วางแผนแก้ปัญหา

วิธีการที่ใช้แก้ปัญหา

 สมการ หาอัตราการสลาย จาก $W + E_k = \frac{hC}{e\lambda}$


ตัวแปรที่โจทย์กำหนดให้มาเพียงพอในการหาคำตอบ หรือไม่ ถ้าไม่พอ

นักเรียนต้อง หาตัวแปรใดเพิ่ม

- เพียงพอไม่ต้องหาตัวแปรเพิ่ม

ขั้นที่ 3 ดำเนินการแก้ปัญหา

นักเรียนแก้ปัญหามาตามแผนที่วางไว้ในขั้นที่ 2

 ดำเนินการโดยใช้ขั้นตอนทางคณิตศาสตร์


หาความยาวคลื่นของแสง

จากสมการ $W + E_k = \frac{hC}{e\lambda}$

แทนค่า $4.2 + 0 = \frac{(6.6 \times 10^{-34})(3 \times 10^8)}{(1.6 \times 10^{-19})\lambda}$

จะได้ $\lambda = 294.6 \times 10^{-9} \text{ m}$

ขั้นที่ 4 ตรวจสอบคำตอบ

 ตอบคำถามทวนสถานการณ์

ตรวจสอบคำตอบ จากสมการ

$$\begin{aligned} \text{จากสมการ} \quad W + E_k &= \frac{hc}{e\lambda} \\ 4.2 + 0 &= \frac{(6.6 \times 10^{-34})(3 \times 10^8)}{(1.6 \times 10^{-19})\lambda} \end{aligned}$$

ตอบ ต้องฉายแสงที่มีความยาวคลื่นความยาวคลื่นของแสง $\lambda = 294.6 \times 10^{-9} \text{ m}$ หรือ $\lambda = 294.6 \text{ nm}$ จึงเกิดปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก


ตัวอย่างที่ 3

ไฮโดรเจนที่สถานะพื้นฐาน (ground state) ดูดกลืนโฟตอนซึ่งมีพลังงาน 20 อิเล็กตรอนโวลต์ แล้วแตกตัว เป็นไอออน จะต้องให้ความต่างศักย์กี่โวลต์ เพื่อที่จะทำให้อิเล็กตรอนที่หลุดออกมาหยุดนิ่งได้


วิธีทำ

ขั้นที่ 1 ทำความเข้าใจปัญหา

 เขียนรูปตามสถานการณ์ (ถ้ามี)


 พิจารณาสถานการณ์ที่กำหนดให้แล้วเขียนออกมาในรูปของสัญลักษณ์ คือ

ข้อความจากโจทย์	กำหนดเป็นตัวแปร
พลังงานยึดเหนี่ยวอิเล็กตรอนไฮโดรเจนสถานะพื้น (ขั้นที่ 1)	$W = 13.6 \text{ eV}$
พลังงานของแสง (โฟตอน)	$E_{\text{แสง}} = 20 \text{ eV}$

 วิเคราะห์สิ่งที่ให้หา คือ ความต่างศักย์ (V_s)


ขั้นที่ 2 วางแผนแก้ปัญหา

วิธีการที่ใช้แก้ปัญหา

 สมการความต่างศักย์ จาก $W = V_s = E_{\text{แสง}}$

ขั้นที่ 3 ดำเนินการแก้ปัญหา

นักเรียนแก้ปัญหาตามแผนที่วางไว้ในขั้นที่ 2

 ดำเนินการโดยใช้ขั้นตอนทางคณิตศาสตร์


หาความต่างศักย์

จากสมการ $W = V_s = E_{\text{แสง}}$

แทนค่า $13.6 + V_s = 20.0$

จะได้ $V_s = 6.4$ โวลต์

ขั้นที่ 4 ตรวจสอบคำตอบ

 ตอบคำถามทวนสถานการณ์

หาความต่างศักย์ เพื่อที่จะทำให้อิเล็กตรอนที่หลุดออกมาหยุดนิ่งได้

$$W = V_s = E_{\text{แสง}}$$

แทนค่า $13.6 + V_s = 20.0$


จะได้ $V_s = 6.4$ โวลต์


ตอบ ความต่างศักย์ที่จะทำให้อิเล็กตรอนที่หลุดออกมาหยุดนิ่งได้ มีค่าเท่ากับ 6.4 โวลต์

ตัวอย่างที่ 4


เมื่อฉายแสงอัลตราไวโอเล็ตความยาวคลื่น 250 นาโนเมตร ลงบนผิวแมกนีเซียม ปรากฏว่าต้องใช้ความต่างศักย์หยุดยั้ง 0.6 โวลต์ จงหาความถี่ขีดเริ่มของแมกนีเซียม

วิธีทำ ขั้นที่ 1 ทำความเข้าใจปัญหา

 เขียนรูปตามสถานการณ์ (ถ้ามี)


 พิจารณาส่งที่กำหนดให้แล้วเขียนออกมาในรูปของสัญลักษณ์ คือ

ข้อความจากโจทย์	กำหนดเป็นตัวแปร
ความยาวคลื่นแสงอัลตราไวโอเล็ต	$\lambda = 250 \text{ nm} = 250 \times 10^{-9} \text{ m}$
ความต่างศักย์หยุดยั้ง	$V_s = 0.6 \text{ V}$

 วิเคราะห์สิ่งที่ให้หา คือ หาพลังงานยึดเหนี่ยว

ขั้นที่ 2 วางแผนแก้ปัญหา


วิธีการที่ใช้แก้ปัญหา

 สมการหาพลังงานยึดเหนี่ยว จาก

$$W + V_s = \frac{hC}{e\lambda}$$

ขั้นที่ 3 ดำเนินการแก้ปัญหา

นักเรียนแก้ปัญหาตามแผนที่วางไว้ในขั้นที่ 2

 ดำเนินการโดยใช้ขั้นตอนทางคณิตศาสตร์

หาพลังงานยึดเหนี่ยว

$$W + V_s = \frac{hC}{e\lambda}$$

แทนค่า

$$W + 0.6 = \frac{(6.6 \times 10^{-34})(3 \times 10^8)}{(1.6 \times 10^{-19})(250 \times 10^{-9})}$$

จะได้

$$W = 4.35 \text{ อิเล็กตรอนโวลต์}$$

ขั้นที่ 4 ตรวจสอบคำตอบ



ตอบคำถามทวนสถานการณ์
หาหาความถี่ขีดเริ่มของแมกนีเซียม

$$W + V_s = \frac{hf}{e}$$

แทนค่า

$$4.35 + 0 = \frac{(6.6 \times 10^{-34})f}{(1.6 \times 10^{-19})}$$

$$f = 1.05 \times 10^{15} \text{ Hz}$$

ตอบ นั่นคือความถี่ขีดเริ่มของแมกนีเซียม มีค่าเท่ากับ 1.05×10^{15} เฮิรตซ์

แบบฝึกทักษะการแก้โจทย์ปัญหา เล่มที่ 2


เรื่อง ฟังก์ชันงานและพลังงานจลน์สูงสุด


แบบฝึกทักษะที่ 1

เมื่อฉายความยาวคลื่น 7.25×10^{-7} เมตร ลงบนแผ่นโลหะชนิดหนึ่งจะพอดีทำให้ อิเล็กตรอนหลุดได้ ค่าพลังงานยึดเหนี่ยวของโลหะนี้ มีค่าเท่าใด ในหน่วยอิเล็กตรอน โวลต์

วิธีทำ

ขั้นที่ 1 ทำความเข้าใจปัญหา

 เขียนรูปตามสถานการณ์ (ถ้ามี)

 พิจารณาส่งที่กำหนดให้แล้วเขียนออกมาในรูปของสัญลักษณ์ คือ

ข้อความจากโจทย์	กำหนดเป็นตัวแปร

 วิเคราะห์สิ่งที่ให้หา คือ.....

ขั้นที่ 2 วางแผนแก้ปัญหา

วิธีการที่ใช้แก้ปัญหาคือ

 สมการ คือ.....

.....

.....

.....

.....


.....

.....

.....

.....

ขั้นที่ 3 ดำเนินการแก้ปัญหา

นักเรียนแก้ปัญหาตามแผนที่วางไว้ในขั้นที่ 2
 ดำเนินการโดยใช้ขั้นตอนทางคณิตศาสตร์

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

ขั้นที่ 4 ตรวจสอบคำตอบ

 ตอบคำถามทวนสถานการณ์
คำตอบคือ

ตรวจสอบคำตอบ จากสมการ.....

.....

.....

.....

.....

.....


.....

.....

แบบฝึกทักษะที่ 2


จากปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กตรอน เมื่อให้แสงที่มีพลังงาน 2.0 อิเล็กตรอนโวลต์ตกกระทบบนโลหะชนิดหนึ่งปรากฏว่าต้องใช้ความต่างศักย์ระหว่างคาโทดกับแอโนดในการหยุดยั้งอิเล็กตรอนเท่ากับ 0.65 โวลต์ ถ้าให้ แสงที่มีพลังงาน 4.0 eV ตกกระทบบนโลหะชนิดเดียวกันจะต้องใช้ความต่างศักย์หยุดยั้งกี่โวลต์

วิธีทำ ขั้นที่ 1 ทำความเข้าใจปัญหา

 เขียนรูปตามสถานการณ์ (ถ้ามี)


 พิจารณาส่งที่กำหนดให้แล้วเขียนออกมาในรูปของสัญลักษณ์ คือ

ข้อความจากโจทย์	กำหนดเป็นตัวแปร


 วิเคราะห์สิ่งที่ให้หา คือ.....

ขั้นที่ 2 วางแผนแก้ปัญหา

วิธีการที่ใช้แก้ปัญหา

 สมการ คือ.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

ขั้นที่ 3 ดำเนินการแก้ปัญหา

นักเรียนแก้ปัญหาตามแผนที่วางไว้ในขั้นที่ 2
 ดำเนินการโดยใช้ขั้นตอนทางคณิตศาสตร์

.....

.....

.....

.....

.....


.....

.....

.....

.....

ขั้นที่ 4 ตรวจสอบคำตอบ

 ตอบคำถามทวนสถานการณ์

คำตอบคือ

ตรวจสอบคำตอบ จากสมการ.....

.....

.....

.....


.....

.....

.....

.....

ขั้นที่ 3 ดำเนินการแก้ปัญหา

นักเรียนแก้ปัญหาตามแผนที่วางไว้ในขั้นที่ 2
 ดำเนินการโดยใช้ขั้นตอนทางคณิตศาสตร์

.....

.....

.....

.....

.....

.....


.....

.....

.....

.....

ขั้นที่ 4 ตรวจสอบคำตอบ

 ตอบคำถามทวนสถานการณ์

คำตอบคือ

ตรวจคำตอบ จากสมการ.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....



แบบทดสอบหลังเรียน

เรื่อง ฟังก์ชันงานและพลังงานจลน์สูงสุด

คำชี้แจง

ให้นักเรียนทำเครื่องหมาย ลงในช่อง ได้ตัวอักษร 1 2 3 และ 4 ที่เป็นคำตอบที่ถูกต้องที่สุดเพียงคำตอบเดียว บนกระดาษคำตอบ จำนวน 10 ข้อ

1. ในปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก ถ้าให้แสงที่มีความถี่ 8×10^{14} เฮิรตซ์ ตกกระทบชนิดหนึ่งปรากฏว่าต้องใช้ความต่างศักย์ในการหยุดยั้งโฟโตอิเล็กตรอนที่หลุดออกมาเท่ากับ 1.3 โวลต์ พลังงานของโลหะที่ใช้ในการทดลองนี้มีค่าเท่าใด

1. 2.0 eV	2. 2.5 eV
3. 4.3 eV	4. 4.6 eV
2. นัยน์ตามนุษย์สามารถรับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าพลังงาน 10^{-18} จูลได้ ถ้าคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่พลังงานนี้มีความยาวคลื่น 8×10^{-7} เมตร โฟตอนที่ได้รับได้มีจำนวนเท่าใด

1. 1 โฟตอน	2. 2 โฟตอน
3. 3 โฟตอน	4. 4 โฟตอน
3. เมื่อให้แสงที่มีความยาวคลื่น 450 นาโนเมตร ตกกระทบผิวโลหะชนิดหนึ่ง ปรากฏว่าต้องใช้ความต่างศักย์ในการหยุดยั้งโฟโตอิเล็กตรอนเท่ากับ 1.5 โวลต์ ถ้าต้องการให้อิเล็กตรอนหลุดออกจากผิวโลหะได้พอดี จะต้องใช้แสงที่มีความยาวคลื่นเท่าใด

1. 990 นาโนเมตร	2. 660 นาโนเมตร
3. 330 นาโนเมตร	4. 220 นาโนเมตร
4. เมื่อฉายรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีความยาวคลื่น 400 นาโนเมตร ไปที่ผิวโลหะ ชนิดหนึ่งที่มีพลังงานยึดเหนี่ยวเท่ากับ 1.8 อิเล็กตรอนโวลต์ โฟโตอิเล็กตรอนที่หลุดจากผิวโลหะมีพลังงานจลน์เท่าไร

1. 0.5 eV	2. 1.3 eV
3. 2.5 eV	4. 5.8 eV
5. โลหะชนิดหนึ่งมีค่าพลังงานยึดเหนี่ยวเท่ากับ 0.2 อิเล็กตรอนโวลต์ ถ้าที่แสงที่มีความยาว 100 nm มากระทบพลังงานจลน์สูงสุดของโฟโตอิเล็กตรอนที่ออกมาจะเป็นกี่อิเล็กตรอนโวลต์ (eV)

1. 12.2 eV	2. 10.4 eV
3. 14.4 eV	4. 18.4 eV

6. กำหนดให้ฟังก์ชันงานของโลหะชนิดหนึ่ง 4.80 eV จะต้องฉายแสงที่มีความยาวคลื่นเท่าใดจึงจะทำให้อิเล็กตรอนหลุดจากขั้วแคโทด ที่ทำจากโลหะดังกล่าวแล้วสามารถไปถึงขั้วแอโนดได้พอดี เมื่อศักย์ไฟฟ้าที่แอโนดต่ำกว่าแคโทดเท่ากับ 1.80 โวลต์
- | | |
|---------------------------|---------------------------|
| 1. 125 นาโนเมตร | 2. 156 นาโนเมตร |
| 3. 167 นาโนเมตร | 4. 187 นาโนเมตร |
7. เมื่อฉายความยาวคลื่น $7.25 \times 10^{-7} \text{ เมตร}$ ลงบนแผ่นโลหะชนิดหนึ่งจะพอดีทำให้อิเล็กตรอนหลุดได้ 7. ถ้าเปลี่ยนความยาวคลื่นของแสงเป็น $5.5 \times 10^{-7} \text{ เมตร}$ ค่าพลังงานยึดเหนี่ยวของโลหะนี้ มีค่าเท่าใด ในหน่วยอิเล็กตรอนโวลต์
- | | |
|----------------------|----------------------|
| 1. 1.69 eV | 2. 2.29 eV |
| 3. 3.69 eV | 4. 4.29 eV |
8. จากปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กตรอน เมื่อให้แสงที่มีพลังงาน $2.0 \text{ อิเล็กตรอนโวลต์}$ ตกกระทบโลหะชนิดหนึ่ง ปรากฏว่าต้องใช้ความต่างศักย์ระหว่างคาโทดกับแอโนดในการหยุดยั้งอิเล็กตรอนเท่ากับ 0.65 โวลต์ ถ้าให้แสงที่มีพลังงาน 4.00 eV ตกกระทบโลหะชนิดเดียวกันจะต้องใช้ความต่างศักย์หยุดยั้งกี่โวลต์
- | | |
|-------------------------|-------------------------|
| 1. 0.64 โวลต์ | 2. 1.05 โวลต์ |
| 3. 2.65 โวลต์ | 4. 5.65 โวลต์ |
9. เมื่อฉายความยาวคลื่น $7.25 \times 10^{-7} \text{ เมตร}$ ลงบนแผ่นโลหะชนิดหนึ่งจะพอดีทำให้อิเล็กตรอนหลุดได้ ถ้าเปลี่ยนความยาวคลื่นของแสงเป็น $5.5 \times 10^{-7} \text{ เมตร}$ ค่าพลังงานจลน์สูงสุดของโฟโตอิเล็กตรอนมีค่าเท่าใด ในหน่วยอิเล็กตรอนโวลต์
- | | |
|----------------------|----------------------|
| 1. 0.02 eV | 2. 0.56 eV |
| 3. 1.55 eV | 4. 2.84 eV |
10. เมื่อให้แสงมีความถี่ตกกระทบบนผิวของทองซึ่งมีพลังงานยึดหยุ่นเท่ากับ 4.8 eV แล้วทำให้เกิดโฟโตอิเล็กตรอน ถ้าความต่างศักย์หยุดยั้งเท่ากับ 8.4 eV จะไม่มีกระแสอิเล็กตรอนไหล จงหาความถี่ของแสงที่ใช้
- | | |
|---|---|
| 1. $0.5 \times 10^{34} \text{ เฮิรตซ์}$ | 2. $2.0 \times 10^{34} \text{ เฮิรตซ์}$ |
| 3. $0.9 \times 10^{15} \text{ เฮิรตซ์}$ | 4. $3.2 \times 10^{15} \text{ เฮิรตซ์}$ |

กระดาษคำตอบแบบทดสอบหลังเรียน
เรื่อง ฟังก์ชันงานและพลังงานจลน์สูงสุด

ชื่อ.....นามสกุล.....ชั้น.....เลขที่.....

ตัวเลือก ข้อที่	1	2	3	4
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				

คะแนนที่ได้/คะแนนเต็ม
...../.....

ลงชื่อ.....ผู้ตรวจ
(.....)
วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....



เกณฑ์การให้คะแนนในแบบฝึกทักษะการแก้โจทย์ปัญหา

ขั้นตอนกระบวนการแก้โจทย์ปัญหาของโพลยา	คะแนน	เกณฑ์การพิจารณา
ขั้นที่ 1 ทำความเข้าใจปัญหา	1	เปลี่ยนปริมาณที่โจทย์กำหนดเป็นตัวแปรได้ถูกต้องชัดเจนครบทุกปริมาณ
	0.5	เปลี่ยนปริมาณที่โจทย์กำหนดเป็นตัวแปรได้ถูกต้องชัดเจนได้บางปริมาณ
	0	เปลี่ยนปริมาณที่โจทย์กำหนดเป็นตัวแปรไม่ถูกต้อง
ขั้นที่ 2 วางแผนการแก้ปัญหา	1	กำหนดสูตรที่เลือกใช้ได้ถูกต้อง
	0	กำหนดสูตรที่เลือกใช้ไม่ถูกต้องเลย
ขั้นที่ 3 ดำเนินการแก้ปัญหา	2	แทนค่าในสูตรและคิดคำนวณเป็นไปตามลำดับขั้นได้ถูกต้อง
	1	แทนค่าในสูตรได้ถูกต้อง แต่คิดคำนวณไม่เป็นไปตามลำดับขั้นที่ถูกต้อง
	0	ไม่ตอบ หรือแทนค่าในสูตรผิดและคิดคำนวณไม่เป็นไปตามลำดับขั้นที่ถูกต้องเลย
ขั้นที่ 4 ตรวจสอบคำตอบ	1	คำตอบและหน่วยถูกต้องชัดเจน
	0.5	คำตอบถูกแต่หน่วยไม่ถูกต้อง
	0	ไม่ตอบ หรือคำตอบและหน่วยไม่ถูกต้องเลย

คำชี้แจงการให้คะแนน

1. ในการทำแบบฝึกทักษะการแก้โจทย์ปัญหา จะมีตารางให้คะแนนให้นักเรียนกรอกด้วยตนเอง
2. เมื่อนักเรียนทำแบบฝึกทักษะการแก้โจทย์ปัญหาเสร็จแล้ว ให้นักเรียนประเมินคะแนนให้กับตนเอง แล้วกรอกคะแนนในแต่ละรายการลงในตารางการให้คะแนน



ตารางบันทึกคะแนนการทำแบบฝึกทักษะการแก้โจทย์ปัญหา

คำชี้แจง ให้นักเรียนนำคะแนนที่ได้จากการทำแบบฝึกทักษะการแก้โจทย์ปัญหามากรอกลงในตาราง

แบบฝึกทักษะที่	กระบวนการ	คะแนนเต็ม	คะแนนที่ได้
1	ทำความเข้าใจปัญหา	1	
	วางแผนการแก้ปัญหา	1	
	ดำเนินการแก้ปัญหา	2	
	ตรวจคำตอบ	1	
	รวม	5	
2	ทำความเข้าใจปัญหา	1	
	วางแผนการแก้ปัญหา	1	
	ดำเนินการแก้ปัญหา	2	
	ตรวจคำตอบ	1	
	รวม	5	
3	ทำความเข้าใจปัญหา	1	
	วางแผนการแก้ปัญหา	1	
	ดำเนินการแก้ปัญหา	2	
	ตรวจคำตอบ	1	
	รวม	5	
4	ทำความเข้าใจปัญหา	1	
	วางแผนการแก้ปัญหา	1	
	ดำเนินการแก้ปัญหา	2	
	ตรวจคำตอบ	1	
	รวม	5	
รวมคะแนน		20	



แบบบันทึกผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนจากแบบฝึกทักษะการแก้โจทย์ปัญหา
เล่มที่ 2 เรื่อง ฟังก์ชันงานและพลังงานจลน์สูงสุด

คำชี้แจง ให้นักเรียนนำคะแนนที่ได้จากการทำแบบทดสอบก่อนเรียน-หลังเรียน และแบบฝึกทักษะการแก้โจทย์ปัญหามากรอกลงในตาราง

1. แบบทดสอบ

แบบทดสอบ	คะแนนเต็ม	คะแนนที่ได้
ก่อนเรียน	10	
หลังเรียน	10	
ผลการพัฒนา		

หมายเหตุ ผลการพัฒนา = $\frac{(\text{คะแนนหลังเรียน} - \text{คะแนนก่อนเรียน})}{10} \times 100$

2. แบบฝึกทักษะการแก้โจทย์ปัญหา

แบบฝึกทักษะ	คะแนนเต็ม	คะแนนที่ได้
1	5	
2	5	
3	5	
4	5	
รวม	20	
ค่าเฉลี่ย		
ร้อยละ		

บรรณานุกรม

กระทรวงศึกษาธิการ. คู่มือครู รายวิชาเพิ่มเติม ฟิสิกส์ เล่ม 3 ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4-6. กรุงเทพมหานคร : สกสศ. ลาดพร้าว, 2554.

_____ . คู่มือครูสาระการเรียนรู้พื้นฐานและเพิ่มเติม ฟิสิกส์ เล่ม 6 ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 กรุงเทพมหานคร : ครูสภาลาดพร้าว, 2547.

จิรัชย์ เสริมภักดีกุลและจิระเดช เสริมภักดีกุล. วิชาเทพ หลักฟิสิกส์คิดส์ O-NET&A-NET ช่วงชั้นที่ 4. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์ SCIENCE CENTER, มปป.

ณัฐภัสสร เหล่าเนตร์, ประดิษฐ์ เหล่าเนตร์ และภักดี รัชตวิภาสนันท์. ฟิสิกส์พื้นฐาน ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4-6. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์แม็ค, 2551.

ธรรมสถิต ทองเงินเจือธรรม. คู่มือ-เตรียมสอบสาระการเรียนรู้พื้นฐานและเพิ่มเติม ฟิสิกส์ เล่ม 6 ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6. กรุงเทพมหานคร : ภูมิบัณฑิตการพิมพ์, มปป.

นรินทร์ เนาวประทีป. สื่อเสริมสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ฟิสิกส์ ม.4-5-6. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์ ฟิสิกส์เซ็นเตอร์, 2546.

นิรันดร์ สุวรรตน์. ตะลุยโจทย์ฟิสิกส์ ม. 6. กรุงเทพมหานคร : พ.ศ.พัฒนา, 2550.

ประสิทธิ์ จันตะกา. ทิวสบายสไตล์ลุยโจทย์ ฟิสิกส์เพิ่มเติม เล่ม 5. ม.4-5-6.กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์ภูมิบัณฑิต, 2551.

ภาคผนวก



เฉลยแบบฝึกทักษะการแก้โจทย์ปัญหา เล่มที่ 2

เรื่อง ฟังก์ชันงานและพลังงานจลน์สูงสุด

เฉลยแบบฝึกทักษะที่ 1

เมื่อฉายความยาวคลื่น 7.25×10^{-7} เมตร ลงบนแผ่นโลหะชนิดหนึ่งจะพอดี ทำให้อิเล็กตรอนหลุดได้ ค่าพลังงานยึดเหนี่ยวของโลหะนี้มีค่าเท่าใด ในหน่วยอิเล็กตรอนโวลต์

วิธีทำ ขั้นที่ 1 ทำความเข้าใจปัญหา

เขียนรูปตามสถานการณ์ (ถ้ามี)

พิจารณาส่งที่กำหนดให้แล้วเขียนออกมาในรูปของสัญลักษณ์ คือ

ข้อความจากโจทย์	กำหนดเป็นตัวแปร
ความยาวคลื่น	$\lambda = 7.25 \times 10^{-7} \text{ m}$
อัตราเร็วแสง	$c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$
ค่าคงที่ของพลัง	$h = 6.6 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$
พลังงานจลน์	$E_k = 0$

วิเคราะห์สิ่งที่ให้หา คือ พลังงานยึดเหนี่ยวของโลหะ

ขั้นที่ 2 วางแผนแก้ปัญห


วิธีการที่ใช้แก้ปัญห

หาพลังงานยึดเหนี่ยวของโลหะ

สมการ $E = W + E_k$

ขั้นที่ 3 ดำเนินการแก้ปัญหา

นักเรียนแก้ปัญหาตามแผนที่วางไว้ในขั้นที่ 2

 ดำเนินการโดยใช้ขั้นตอนทางคณิตศาสตร์

$$E = W + E_k$$

$$\frac{hc}{e\lambda} = W + 0$$


$$W = \frac{6.6 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8}{1.6 \times 10^{-19} \times 7.25 \times 10^{-7}}$$

$$W = \frac{19.8 \times 10^{-26}}{11.6 \times 10^{-26}}$$

$$W = 1.7 \text{ eV}$$

ดังนั้น พลังงานยึดเหนี่ยวของโลหะ เท่ากับ 1.7 อิเล็กตรอนโวลต์

ขั้นที่ 4 ตรวจสอบคำตอบ

 ตอบคำถามทวนสถานการณ์

จากสมการ $\frac{hc}{e\lambda} = W + 0$

แทนค่า $W = \frac{6.6 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8}{1.6 \times 10^{-19} \times 7.25 \times 10^{-7}}$

จะได้ $W = \frac{19.8 \times 10^{-26}}{11.6 \times 10^{-26}}$


$$W = 1.7 \text{ eV}$$


ตอบ พลังงานยึดเหนี่ยวของโลหะ เท่ากับ 1.7 อิเล็กตรอนโวลต์

เฉลยแบบฝึกทักษะที่ 2


จากปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กตรอน เมื่อให้แสงที่มีพลังงาน 2.0 อิเล็กตรอนโวลต์ ตกกระทบบนโลหะชนิดหนึ่งปรากฏว่าต้องใช้ความต่างศักย์ระหว่างคาโทดกับแอโนด ในการหยุดยั้งอิเล็กตรอนเท่ากับ 0.65 โวลต์ ถ้าให้แสงที่มีพลังงาน 4.0 eV ตกกระทบบนโลหะชนิดเดียวกันจะต้องใช้ความต่างศักย์หยุดยั้งกี่โวลต์

วิธีทำ ขั้นที่ 1 ทำความเข้าใจปัญหา

 เขียนรูปตามสถานการณ์ (ถ้ามี)


 พิจารณาสถานการณ์ที่กำหนดให้แล้วเขียนออกมาในรูปของสัญลักษณ์ คือ

ข้อความจากโจทย์	กำหนดเป็นตัวแปร
พลังงานแสง	$E = 2.0 \text{ eV}$
ความต่างศักย์	$V_s = 0.65 \text{ V}$
พลังงานแสง	$E = 4.0 \text{ eV}$

 วิเคราะห์สิ่งที่ให้หา คือ ความต่างศักย์หยุดยั้ง

ขั้นที่ 2 วางแผนแก้ปัญหา

วิธีการที่ใช้แก้ปัญหา

 หาพลังงานยึดเหนี่ยว $W = ?$

$$\text{จากสมการ } E = W + E_k, \quad E_k = V_s$$

$$E = W + V_s$$

$$W = E - V_s$$

หา ความต่างศักย์หยุดยั้ง


$$\text{จากสมการ } E = W + V_s \text{ เมื่อ } E = 4.0 \text{ eV}$$

$$E = W + V_s$$

$$V_s = E - W$$

ขั้นที่ 3 ดำเนินการแก้ปัญหา

นักเรียนแก้ปัญหาตามแผนที่วางไว้ในขั้นที่ 2

 ดำเนินการโดยใช้ขั้นตอนทางคณิตศาสตร์

หาพลังงานยึดเหนี่ยว $W = ?$

$$\text{จากสมการ } E = W + E_k, E_k = V_s$$

$$E = W + V_s$$

$$\text{จากสมการ } E = W + E_k, E_k = V_s$$

$$E = W + V_s$$

$$W = E - V_s$$

$$\text{นั่นคือ } W = 2.0 - 0.65$$

$$W = 1.35 \text{ eV}$$

หาความต่างศักย์หยุดยั้ง

$$\text{หา } V_s = ? \text{ เมื่อ } E = 4.0 \text{ eV}$$


$$\text{จากสมการ } E = W + V_s$$

$$V_s = E - W$$

$$\text{แทนค่า จะได้ } V_s = 4.0 - 1.35$$

$$V_s = 2.65 \text{ eV}$$

ขั้นที่ 4 ตรวจสอบคำตอบ

 ตอบคำถามทวนสถานการณ์

$$\text{ตรวจคำตอบ จากสมการ } E = W + V_s$$

หาความต่างศักย์หยุดยั้ง

$$\text{หา } V_s = ? \text{ เมื่อ } E = 4.0 \text{ eV}$$

$$\text{จากสมการ } E = W + V_s$$

$$V_s = E - W$$

$$\text{แทนค่า จะได้ } V_s = 4.0 - 1.35$$

$$V_s = 2.65 \text{ eV}$$


ดังนั้น ความต่างศักย์หยุดยั้ง เท่ากับ 2.65 อิเล็กตรอนโวลต์


ตอบ ถ้าให้แสงที่มีพลังงาน 4.0 eV ตกกระทบโลหะชนิดเดียวกันจะต้องใช้ความต่างศักย์หยุดยั้งเท่ากับ 2.65 อิเล็กตรอนโวลต์

เฉลยแบบฝึกทักษะที่ 3


เมื่อให้แสงมีความถี่ตกลงกระทบบนผิวของทองซึ่งมีพลังงานยึดหุ่่นเท่ากับ 4.8 eV แล้วทำให้เกิดโฟโตอิเล็กตรอน ถ้าความต่างศักย์หยุดห้ยั้งเท่ากับ 8.4 eV จะไม่มีกระแสอิเล็กตรอนไหล จงหาความถี่ของแสงที่ใช้

วิธีทำ ขั้นที่ 1 ทำความเข้าใจปัญหา

 เขียนรูปตามสถานการณ์ (ถ้ามี)


 พิจารณาส่ิ่งที่กำหนดให้แล้วเขียนออกมาในรูปของสัญลักษณ์ คือ

ข้อความจากโจทย์	กำหนดเป็นตัวแปร
พลังงาน	$W = 4.8 \text{ eV}$
ค่าคงที่ของพลังค์	$h = 6.6 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$
ประจุอิเล็กตรอน	$e = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$
ความต่างศักย์หยุดห้ยั้ง	$V_s = 8.4 \text{ eV}$

 วิเคราะห์ส่ิ่งที่ให้หา คือ ความถี่ของแสง $f = ?$

ขั้นที่ 2 วางแผนแก้ปัญห

วิธีการที่ใช้แก้ปัญห

 หาความถี่ของแสง $f = ?$


จากสมการ $E = W + E_k \quad (V_s = E_k)$

$$\frac{hf}{e} = W + V_s$$

$$hf = W \cdot e + E_k \cdot e$$

ขั้นที่ 3 ดำเนินการแก้ปัญหา

นักเรียนแก้ปัญหาตามแผนที่วางไว้ในขั้นที่ 2

 ดำเนินการโดยใช้ขั้นตอนทางคณิตศาสตร์

หาความถี่ของแสง $f = ?$

จากสมการ $E = W + E_k$ เมื่อ $(V_s = E_k)$

$$\frac{hf}{e} = W + V_s$$

$$hf = W \cdot e + E_k \cdot e$$

แทนค่า จะได้ว่า

$$(6.6 \times 10^{-34})f = 4.8 \times 1.6 \times 10^{-19} + 8.4 \times 1.6 \times 10^{-19}$$


$$(6.6 \times 10^{-34})f = 7.68 \times 10^{-19} + 13.44 \times 10^{-19}$$

$$f = \frac{21.12 \times 10^{-19}}{6.6 \times 10^{-34}}$$

$$f = 3.2 \times 10^{15} \text{ Hz}$$

ดังนั้น $f = 3.2 \times 10^{15} \text{ Hz}$

ขั้นที่ 4 ตรวจสอบคำตอบ

 ตอบคำถามทวนสถานการณ์

คำตอบคือ ความถี่แสงเท่ากับ $f = 3.2 \times 10^{15} \text{ Hz}$

ตรวจคำตอบ จากสมการ $E = W + E_k$

เมื่อ
$$\frac{hf}{e} = W + V_s$$

$$hf = W \cdot e + E_k \cdot e$$

$$(6.6 \times 10^{-34})f = 4.8 \times 1.6 \times 10^{-19} + 8.4 \times 1.6 \times 10^{-19}$$

$$(6.6 \times 10^{-34})f = 7.68 \times 10^{-19} + 13.44 \times 10^{-19}$$

จะได้
$$f = \frac{21.12 \times 10^{-19}}{6.6 \times 10^{-34}}$$

$$f = 3.2 \times 10^{15} \text{ Hz}$$


ดังนั้น ความถี่แสงเท่ากับ $f = 3.2 \times 10^{15} \text{ Hz}$


ตอบ ความถี่แสงที่ตกลงกระทบบนผิวของทอมีค่าเท่ากับ 3.2×10^{15} เฮิรตซ์

เฉลยแบบฝึกทักษะที่ 4


เมื่อฉายรังสีอุลตราไวโอเล็ตที่มีความยาวคลื่น 400 นาโนเมตร ไปที่ผิวโลหะชนิดหนึ่งที่มีพลังงานยึดเหนี่ยวเท่ากับ 2.0 อิเล็กตรอนโวลต์ โฟโตอิเล็กตรอนที่หลุดจากผิวโลหะมีพลังงานจลน์เท่าไร

วิธีทำ ขั้นที่ 1 ทำความเข้าใจปัญหา

 เขียนรูปตามสถานการณ์ (ถ้ามี)

 พิจารณาส่งที่กำหนดให้แล้วเขียนออกมาในรูปของสัญลักษณ์ คือ


ข้อความจากโจทย์	กำหนดเป็นตัวแปร
ความยาวคลื่น	$\lambda = 400 \text{ nm} = 400 \times 10^{-9} \text{ m}$
พลังงานยึดเหนี่ยว	$W = 2.0 \text{ eV}$
อัตราเร็วแสง	$c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$
ค่าคงที่ของพลัง	$h = 6.6 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$
ประจุอิเล็กตรอน	$e = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$

 วิเคราะห์สิ่งที่ให้หา คือ พลังงานจลน์ $E_k = ?$

ขั้นที่ 2 วางแผนแก้ปัญห

วิธีการที่ใช้แก้ปัญห


หาพลังงานจลน์ $E_k = ?$

 สมการ $E = W + E_k$

$$\frac{hc}{e\lambda} = w + E_k$$

ขั้นที่ 3 ดำเนินการแก้ปัญหา

นักเรียนแก้ปัญหาตามแผนที่วางไว้ในขั้นที่ 2

 ดำเนินการโดยใช้ขั้นตอนทางคณิตศาสตร์

$$E = W + E_k$$

$$\frac{hc}{e\lambda} = w + E_k$$

แทนค่า จะได้

$$\frac{6.6 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8}{1.6 \times 10^{-19} \times 400 \times 10^{-9}} = 2.0 + E_k$$

$$\frac{19.8 \times 10^{-26}}{640 \times 10^{-28}} - 2.0 = E_k$$


$$E_k = 0.03 \times 10^2 - 2.0$$

$$E_k = 3 - 2.0$$

$$E_k = 1.0 \text{ eV}$$

ดังนั้น พลังงานจลน์เท่ากับ 1.0 อิเล็กตรอนโวลต์

ขั้นที่ 4 ตรวจสอบคำตอบ

 ตอบคำถามทวนสถานการณ์

จากสมการ $E = W + E_k$

$$\frac{hc}{e\lambda} = w + E_k$$

แทนค่า จะได้

$$\frac{6.6 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8}{1.6 \times 10^{-19} \times 400 \times 10^{-9}} = 2.0 + E_k$$

$$\frac{19.8 \times 10^{-26}}{640 \times 10^{-28}} - 2.0 = E_k$$

$$E_k = 0.03 \times 10^2 - 2.0$$

$$E_k = 3 - 2.0$$

$$E_k = 1.0 \text{ eV}$$

ตอบ โฟโตอิเล็กตรอนที่หลุดจากผิวโลหะมีพลังงานจลน์ เท่ากับ 1.0 อิเล็กตรอนโวลต์



เฉลยแบบทดสอบก่อนเรียน เล่มที่ 2
เรื่อง ฟังก์ชันงานและพลังงานจลน์สูงสุด

ข้อที่	ตัวเลือก	ข้อที่	ตัวเลือก
1	1	6	4
2	3	7	1
3	2	8	2
4	4	9	1
5	1	10	4



เฉลยแบบทดสอบหลังเรียน เล่มที่ 2
เรื่อง ฟังก์ชันงานและพลังงานจลน์สูงสุด

ข้อที่	ตัวเลือก	ข้อที่	ตัวเลือก
1	1	6	4
2	4	7	1
3	1	8	3
4	2	9	2
5	1	10	4

หมายเหตุ

1. คะแนนที่ผ่านเกณฑ์คือ ร้อยละ 80 (8 ข้อ ขึ้นไป)
2. ถ้านักเรียนทำผ่านเกณฑ์ ให้นักเรียนศึกษาเล่มต่อไป
3. ถ้านักเรียนไม่ผ่านเกณฑ์ให้กลับไปศึกษาบทเรียนนี้ใหม่ แล้วทำการทดสอบหลังเรียนอีกครั้ง จนกว่าจะผ่านเกณฑ์ที่กำหนด