

มหาวิทยาลัยบูรพา
Burapha University

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

- รายชื่อผู้เชี่ยวชาญ
- หนังสือเชิญผู้เชี่ยวชาญประเมินชุดทดลอง
- แบบประเมินความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ
- แบบสอบถามความคิดเห็นสำหรับนักเรียน
- การวิเคราะห์ความคิดเห็นจากการประเมินชุดทดลองโดยผู้เชี่ยวชาญ
- การวิเคราะห์ความคิดเห็นจากการประเมินชุดทดลองโดยนักเรียน

รายชื่อผู้เชี่ยวชาญประเมินชุดทดลองการหาค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวของก๊าซ

1. ผู้ช่วยศาสตราจารย์มารีนา มะหนี
ภาควิชาฟิสิกส์
คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยทักษิณ จังหวัดสงขลา
2. ผู้ช่วยศาสตราจารย์จักรพันธ์ ถาวรธรา
ภาควิชาฟิสิกส์
คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยบูรพา จังหวัดชลบุรี
3. ผู้ช่วยศาสตราจารย์สมพิศ อุดมศิลป์
โรงเรียนสาธิต “พิบูลบำเพ็ญ”
คณะศึกษาศาสตร์
มหาวิทยาลัยบูรพา จังหวัดชลบุรี
4. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประยูร อัมสวาสดี
โรงเรียนสาธิต “พิบูลบำเพ็ญ”
คณะศึกษาศาสตร์
มหาวิทยาลัยบูรพา จังหวัดชลบุรี
5. อาจารย์จอม จำปาเหลือง
ครูชำนาญการพิเศษ
โรงเรียนตราษตระการคุณ
จังหวัดตราด



ที่ ศธ ๖๖๑๕.๓/ว ๐๓๙/๗

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา
ต.แสนสุข อ.เมือง จ.ชลบุรี ๒๐๑๓๓

๒๒ มีนาคม พ.ศ. ๒๕๕๕

เรื่อง ขอความอนุเคราะห์ตรวจสอบความเหมาะสมของชุดทดลองในการทำวิทยานิพนธ์

เรียน ผู้ช่วยศาสตราจารย์มารินา มะหนี

ด้วยนายลักษณะมงคล ถาวรณา นิสิตระดับปริญญาโท สาขาวิชาฟิสิกส์ศึกษา ภาควิชา
คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา กำลังดำเนินการทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง การออกแบบและการสร้าง
ชุดทดลองการหาค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวของก๊าซ โดยมี ผู้ช่วยศาสตราจารย์อุษาวดี ต้นติวานุรักษ์
เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาหลัก ในกรณี เพื่อให้การทำวิทยานิพนธ์ดำเนินไปด้วยความเรียบร้อย และมี
ประสิทธิภาพ คณะวิทยาศาสตร์ จึงขอความอนุเคราะห์ท่านในการตรวจสอบความเหมาะสมของชุดทดลอง
ในการทำวิทยานิพนธ์ด้วย

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณาให้ความอนุเคราะห์ด้วย จักขอบคุณยิ่ง

ขอแสดงความนับถือ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์อุษาวดี ต้นติวานุรักษ์)
คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

สำนักงานคณบดี ฝ่ายวิจัยและบัณฑิตศึกษา

โทรศัพท์ ๐๓๘-๑๐๓๐๘๕

โทรสาร ๐๓๘-๑๐๓๐๕๓



บันทึกข้อความ

ส่วนงาน คณะวิทยาศาสตร์ สำนักงานคณบดี ฝ่ายวิจัยและบัณฑิตศึกษา โทร. ๓๐๘๕

ที่ ศธ ๖๖๑๕.๑/ว ๐๕๒๔

วันที่ ๒๒ มีนาคม พ.ศ. ๒๕๕๔

เรื่อง ขอความอนุเคราะห์ตรวจสอบความเหมาะสมของชุดทดลองในการทำวิทยานิพนธ์

เรียน ผู้ช่วยศาสตราจารย์จักรพันธ์ ถาวรธิดา

ด้วยนายลักษณะมงคล ถาวรธิดา นิสิตระดับปริญญาโท สาขาวิชาฟิสิกส์ศึกษา ภาควิชา
คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา กำลังดำเนินการทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง การออกแบบและการสร้าง
ชุดทดลองการหาค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวของก๊าซ โดยมี ผู้ช่วยศาสตราจารย์อุษาวดี ตันติวรานุรักษ์
เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาหลัก ในการนี้ เพื่อให้การทำวิทยานิพนธ์ดำเนินไปด้วยความเรียบร้อย และมี
ประสิทธิภาพ คณะวิทยาศาสตร์ จึงขอความอนุเคราะห์ท่านในการตรวจสอบความเหมาะสมของชุดทดลอง
ในการทำวิทยานิพนธ์ด้วย

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณาให้ความอนุเคราะห์ด้วย จักขอบคุณยิ่ง

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์อุษาวดี ตันติวรานุรักษ์)

คณบดีคณะวิทยาศาสตร์



บันทึกข้อความ

ส่วนงาน คณะวิทยาศาสตร์ สำนักงานคณบดี ฝ่ายวิจัยและบัณฑิตศึกษา โทร. ๓๐๘๕

ที่ ศธ ๖๖๑๕.๑/ว ๐๘๒๙

วันที่ ๒๒ มีนาคม พ.ศ. ๒๕๕๔

เรื่อง ขอบความอนุเคราะห์ตรวจสอบความเหมาะสมของชุดทดลองในการทำวิทยานิพนธ์

เรียน ผู้ช่วยศาสตราจารย์สมพิศ อุดมศิลป์

ด้วยนายลักษณะมงคล ถาวรณา นิสิตระดับปริญญาโท สาขาวิชาฟิสิกส์ศึกษา ภาควิเศษ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา กำลังดำเนินการทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง การออกแบบและการสร้าง ชุดทดลองการหาค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวของก๊าซ โดยมี ผู้ช่วยศาสตราจารย์อุษาวดี ตันติวรานุรักษ์ เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาหลัก ในการนี้ เพื่อให้การทำวิทยานิพนธ์ดำเนินไปด้วยความเรียบร้อย และมี ประสิทธิภาพ คณะวิทยาศาสตร์ จึงขอความอนุเคราะห์ท่านในการตรวจสอบความเหมาะสมของชุดทดลอง ในการทำวิทยานิพนธ์ด้วย

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณาให้ความอนุเคราะห์ด้วย จักขอบคุณยิ่ง

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์อุษาวดี ตันติวรานุรักษ์)
คณบดีคณะวิทยาศาสตร์



บันทึกข้อความ

ส่วนงาน คณะวิทยาศาสตร์ สำนักงานคณบดี ฝ่ายวิจัยและนวัตกรรมศึกษา โทร. ๓๐๘๘๕
ที่ ศธ ๖๖๓๕.๑/ว ๐๕๒๙ วันที่ ๒๒ มีนาคม พ.ศ. ๒๕๕๔

เรื่อง ขอความอนุเคราะห์ตรวจสอบความเหมาะสมของชุดทดลองในการทำวิทยานิพนธ์

เรียน ผู้ช่วยศาสตราจารย์ประยูร อัมสวาสดี

ด้วยนายลักขณ์มงคล ถาวรณา นิสิตระดับปริญญาโท สาขาวิชาฟิสิกส์ศึกษา ภาควิชา
คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา กำลังดำเนินการทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง การออกแบบและการสร้าง
ชุดทดลองการหาค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวของก๊าซ โดยมี ผู้ช่วยศาสตราจารย์อูชาวดี ดันติวานุรักษ์
เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาหลัก ในกรณีนี้ เพื่อให้การทำวิทยานิพนธ์ดำเนินไปด้วยความเรียบร้อย และมี
ประสิทธิภาพ คณะวิทยาศาสตร์ จึงขอความอนุเคราะห์ท่านในการตรวจสอบความเหมาะสมของชุดทดลอง
ในการทำวิทยานิพนธ์ด้วย

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณาให้ความอนุเคราะห์ด้วย จักขอบคุณยิ่ง

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์อูชาวดี ดันติวานุรักษ์)
คณบดีคณะวิทยาศาสตร์



ที่ ศร ๖๖๑๕.๑/ว ๐๓๕/๗

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา
ต.แสนสุข อ.เมือง จ.ชลบุรี ๒๐๑๓๑

๒๒ มีนาคม พ.ศ. ๒๕๕๔

เรื่อง ขออนุมัติโครงการตรวจสอบความเหมาะสมของชุดทดลองในการทำวิทยานิพนธ์

เรียน อาจารย์จอม จำปาเหลือง

ด้วยนายลักษณะมงคล ธารณา นิสิตระดับปริญญาโท สาขาวิชาฟิสิกส์ศึกษา ภาควิชา
คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา กำลังดำเนินการทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง การออกแบบและการสร้าง
ชุดทดลองการหาค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวของก๊าซ โดยมี ผู้ช่วยศาสตราจารย์อุษาวดี ดันติวรานุรักษ์
เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาหลัก ในการนี้ เพื่อให้การทำวิทยานิพนธ์ดำเนินไปด้วยความเรียบร้อย และมี
ประสิทธิภาพ คณะวิทยาศาสตร์ จึงขออนุมัติโครงการท่านในการตรวจสอบความเหมาะสมของชุดทดลอง
ในการทำวิทยานิพนธ์ด้วย

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณาให้ความอนุเคราะห์ด้วย จักขอบคุณยิ่ง

ขอแสดงความนับถือ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์อุษาวดี ดันติวรานุรักษ์)
คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

สำนักงานคณบดี ฝ่ายวิจัยและบัณฑิตศึกษา

โทรศัพท์ ๐๓๕-๑๐๓๐๔๕

โทรสาร ๐๓๕-๑๐๓๐๕๑

แบบประเมินความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ เกี่ยวกับชุดทดลองการหาค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวของก๊าซ

แบบประเมินผลชุดนี้ เป็นแบบสอบถามความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญเกี่ยวกับการสร้างชุดทดลองการหาค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวของก๊าซ เพื่อใช้เป็นสื่อการเรียนรู้ วิชาฟิสิกส์ ระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย ในบทเรียนความร้อน เรื่องสัมประสิทธิ์การขยายตัวของก๊าซ

คำชี้แจง แบบประเมินชุดนี้แบ่งออกเป็น 2 ตอน

ตอนที่ 1 ถามความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ เกี่ยวกับประสิทธิภาพการทดลอง การออกแบบ และคู่มือชุดทดลองสำหรับครู

ตอนที่ 2 ถามความคิดเห็นและข้อเสนอแนะอื่นๆ

ตอนที่ 1 ถามความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ เกี่ยวกับชุดทดลอง ใบงานการทดลอง ใบความรู้ และคู่มือชุดทดลองสำหรับครู

คำชี้แจง กรุณาทำเครื่องหมาย ✓ ลงในช่องที่ตรงกับความคิดเห็นของท่าน โดยมีระดับค่าคะแนนดังนี้

+1 หมายถึง แน่ใจว่าชุดทดลองนี้สามารถวัดได้ตรงตามวัตถุประสงค์ที่ระบุไว้จริง

0 หมายถึง ไม่แน่ใจว่าชุดทดลองนี้สามารถวัดได้ตรงตามวัตถุประสงค์ที่ระบุไว้จริง

-1 หมายถึง แน่ใจว่าชุดทดลองนี้ไม่สามารถวัดได้ตรงตามวัตถุประสงค์ที่ระบุไว้จริง

ข้อที่	ข้อคำถามความคิดเห็น	ระดับความคิดเห็น		
		+1	0	-1
	ก.ด้านประสิทธิภาพการทดลอง			
1	สามารถทดลองได้ตรงตามวัตถุประสงค์			
2	เหมาะสมกับระดับผู้เรียน			
3	ชุดทดลองสามารถทำให้การเรียนรู้เข้าใจดียิ่งขึ้น			
4	ช่วยให้การอธิบายทางทฤษฎีลดน้อยลง			

แบบสอบถามความคิดเห็นสำหรับนักเรียน
เกี่ยวกับชุดทดลองการหาค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวของก๊าซ

แบบประเมินผลชุดนี้ เป็นแบบสอบถามเพื่อให้นักเรียนแสดงความคิดเห็น
เกี่ยวกับชุดทดลองการหาค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวของก๊าซ

คำชี้แจง แบบประเมินชุดนี้แบ่งออกเป็น 2 ตอน

- ตอนที่ 1 ถามความคิดเห็นของนักเรียน เกี่ยวกับชุดทดลอง ใบความรู้และใบงาน
การทดลอง
- ตอนที่ 2 ถามความคิดเห็นและข้อเสนอแนะ

ตอนที่ 1 ถามความคิดเห็นของนักเรียน เกี่ยวกับชุดทดลอง ใบความรู้ และใบงานการทดลอง

คำชี้แจง กรุณาทำเครื่องหมาย ✓ ลงในช่องที่ตรงกับความคิดเห็นของนักเรียน โดยมีระดับ
ค่าคะแนนดังนี้

5 หมายถึง เห็นด้วยอย่างยิ่ง

4 หมายถึง เห็นด้วย

3 หมายถึง ไม่แน่ใจ

2 หมายถึง ไม่เห็นด้วย

1 หมายถึง ไม่เห็นด้วยอย่างยิ่ง

ข้อที่	ข้อคำถามความคิดเห็น	ระดับความคิดเห็น				
		5	4	3	2	1
	ก.ด้านการออกแบบชุดทดลอง					
1	สามารถใช้ชุดทดลองได้ตามเวลา					
2	ชุดทดลองมีความปลอดภัยในการใช้งาน					
3	ชุดทดลองมีความสะดวกในการใช้งาน					
4	ชุดทดลองมีความน่าสนใจ					

ตารางที่ ก-1 แสดงการวิเคราะห์ความคิดเห็นจากการประเมินชุดทดลองโดยผู้เชี่ยวชาญ 5 ท่าน

ข้อที่	ข้อความความคิดเห็น	ระดับความคิดเห็น			IOC
		+1	0	-1	
ก. ด้านประสิทธิภาพการทดลอง					
1	สามารถทดลองได้ตรงตามวัตถุประสงค์	5	0	0	1
2	เหมาะสมกับระดับผู้เรียน	5	0	0	1
3	ชุดทดลองสามารถทำให้การเรียนรู้เข้าใจดียิ่งขึ้น	5	0	0	1
4	ช่วยให้การอธิบายทางทฤษฎีลดน้อยลง	3	2	0	0.6
ค่าเฉลี่ยความสอดคล้องเฉลี่ยรวม					0.9
ข. ด้านการออกแบบ					
1	ใช้หลักการตามมาตรฐานสากล	5	0	0	1
2	ชุดทดลองมีขนาดเหมาะสม	5	0	0	1
3	มีความปลอดภัยในการทดลอง	5	0	0	1
4	มีความสะดวกในการบำรุงรักษา	5	0	0	1
ค่าเฉลี่ยความสอดคล้องเฉลี่ยรวม					1
ค. ด้านคู่มือปฏิบัติการสำหรับครู					
1	เนื้อหาทางทฤษฎีมีความสัมพันธ์กับชุดทดลอง	5	0	0	1
2	ครอบคลุมวัตถุประสงค์เกี่ยวกับหัวข้อในการทดลอง	5	0	0	1
3	ภาษาเข้าใจง่าย	5	0	0	1
4	เวลาที่ใช้ในการสอนเหมาะสม	5	0	0	1
ค่าเฉลี่ยความสอดคล้องเฉลี่ยรวม					1

ข้อที่	ข้อคำถามความคิดเห็น	ระดับความเห็น (ร้อยละ)					คะแนนเฉลี่ย	ความเห็น
		5	4	3	2	1		
	ค.ใบงานการทดลอง							
1	ลำดับขั้นตอนในการทดลอง เข้าใจง่าย	50.00	38.24	11.76	0	0	4.38	เห็นด้วย
2	ตารางบันทึกผลการทดลอง เข้าใจง่าย	50.00	44.12	5.88	0	0	4.44	เห็นด้วย
3	คำถามท้ายการทดลองสอดคล้อง กับการทดลอง	64.71	26.47	8.82	0	0	4.56	เห็นด้วย อย่างยิ่ง
	คะแนนเฉลี่ยรวมด้านใบงานการทดลอง						4.46	เห็นด้วย อย่างยิ่ง

ภาคผนวก ข

- อุปกรณ์การทดลอง
- การจัดชุดทดลอง



ภาพที่ ข-1 ภาชนะโลหะที่ปิดสนิทที่มีท่อต่อสำหรับวัดความดัน



ภาพที่ ข-2 เครื่องวัดความดันของก๊าซแบบดิจิทัล (Digital Pressure Gauge) โดยมีวาล์ว 2 ตัว



ภาพที่ ข-3 บีกเกอร์ขนาด 2000 มิลลิลิตร

มหาวิทยาลัยบูรพา
Burapha University

ภาคผนวก ค
คู่มือปฏิบัติการสำหรับครู



ภาพที่ ข-4 เทอร์โมมิเตอร์



ภาพที่ ข-5 ขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร พร้อมจุกยางและก๊อกล



ภาพที่ ข-6 กระบอกตวงขนาด 300 มิลลิลิตร



ภาพที่ ข-7 เตาความร้อน (hot plate)



ภาพที่ ข-8 สายยางขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 เซนติเมตร



ภาพที่ ข-9 น้ำและน้ำแข็งก้อนเล็ก

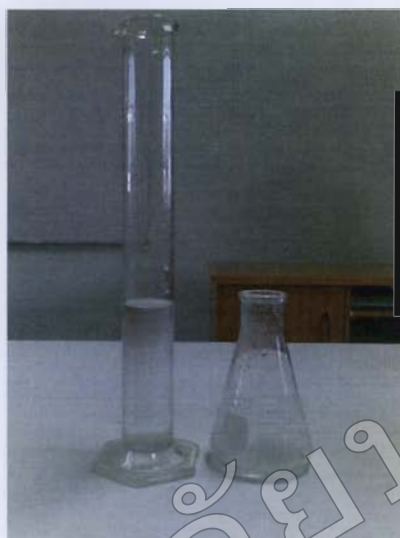
ชุดทดลองการหาค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวของก๊าซ โดยใช้กระบวนการความดันคงที่



ภาพที่ ข-10 ขวดรูปชมพู่ ที่รักษาความดันในขวดแก้วให้อยู่ที่ความดันบรรยากาศอยู่ในสถานะที่มีน้ำกำลังเดือด



ภาพที่ ข-11 ขวดรูปชมพู่บรรจุอากาศวางอยู่ในน้ำที่ถูกทำให้เย็น



ภาพที่ ข-12 การวัดความแตกต่างของปริมาตร

ชุดทดลองการหาค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวของก๊าซ โดยใช้กระบวนการปริมาตรคงที่



ภาพที่ ข-13 การติดตั้งการทดลองโดยใช้กระบวนการปริมาตรคงที่ซึ่งใช้ภาชนะโลหะที่ปิดสนิท
จุ่มลงในภาชนะที่มีน้ำผสมน้ำแข็ง



ภาพที่ ข-14 น้ำในภาชนะถูกต้มให้เดือดโดยใช้เตาความร้อนให้ความร้อนกับอากาศที่มีอยู่
ในภาชนะโลหะที่ปิดสนิท



คู่มือปฏิบัติการสำหรับครู
 วิชาฟิสิกส์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6
 เรื่อง การหาค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวของก๊าซ



กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์
 โรงเรียนสาริต "พิบูลบำเพ็ญ" มหาวิทยาลัยบูรพา
 สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา

คำนำ

คู่มือปฏิบัติการสำหรับครู เรื่อง การหาค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวของก๊าซ ใช้สำหรับการสอนและปฏิบัติการทดลองในวิชาฟิสิกส์ ระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย ในบทเรียนความร้อน เรื่องกฎของชาร์ล ตามหลักสูตรสถานศึกษา โรงเรียนสาธิต “พิบูลบำเพ็ญ” มหาวิทยาลัยบูรพา เพื่อให้ง่ายต่อการใช้งาน ผู้จัดทำจึงได้ เรียบเรียงคู่มือชุดนี้ขึ้น ซึ่งประกอบไปด้วย แผนการจัดการเรียนรู้ ใบความรู้ ใบงานการทดลอง ตัวอย่างผลการทดลอง ตัวอย่างการอภิปรายผลการทดลอง และตัวอย่างการสรุปผลการทดลอง สำหรับครูผู้สอนไปใช้เป็นแนวทางในการการสอนและปฏิบัติการทดลองตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้

ผู้จัดทำหวังเป็นอย่างยิ่งว่า คู่มือปฏิบัติการสำหรับครูชุดนี้จะประโยชน์และเป็นสิ่งที่อำนวยความสะดวกต่อครูผู้สอนที่ต้องการแนวทางในการจัดการเรียนรู้และการปฏิบัติการทดลอง เรื่องการหาค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวของก๊าซได้เป็นอย่างดี

ลักขณ์มงคล ถาวรณา

ผู้จัดทำ

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
ข้อเสนอแนะในการใช้คู่มือปฏิบัติการสำหรับครู	1
1. แผนการจัดการเรียนรู้	2
2. ใบความรู้	3
3. ใบงานการทดลอง	4
3.1 หลักการและเหตุผล	11
3.2 วัตถุประสงค์	11
3.3 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	11
3.4 ทฤษฎี	12
3.5 อุปกรณ์การทดลอง	16
3.6 วิธีการทดลอง	16
3.7 การบันทึกผลและจัดกระทำข้อมูลจากการทดลอง	21
3.8 คำแนะนำไปสู่การอภิปรายผลการทดลอง	24
3.9 อภิปรายผลการทดลอง	24
3.10 สรุปผลการทดลอง	25
3.11 ตัวอย่างการบันทึกผลการทดลอง และจัดกระทำข้อมูลการทดลอง	26
3.12 ตัวอย่างการอภิปรายและสรุปผลการทดลอง	29

ข้อเสนอแนะในการใช้คู่มือปฏิบัติการ

คู่มือปฏิบัติการสำหรับครูประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังต่อไปนี้

1. แผนการจัดการเรียนรู้
2. ใบความรู้
3. ใบงานการทดลอง

สื่อการจัดการเรียนรู้ประกอบด้วย

1. คู่มือปฏิบัติการ
2. ชุดทดลองเรื่อง การหาค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวของก๊าซ

กระบวนการจัดการเรียนรู้

1. บรรยาย
2. อภิปราย
3. สาธิต
4. ทดลอง

แนวปฏิบัติของครูผู้สอน

1. ให้ความรู้โดยการบรรยายและนำอภิปรายเรื่องสัมประสิทธิ์การขยายตัวของก๊าซเพื่อนำไปสู่จุดมุ่งหมายสัมบูรณ์ ตามกฎของชาร์ลและเกย์ลูสแซก
2. ชี้แจงนักเรียนเกี่ยวกับแนวทางปฏิบัติตามระเบียบของห้องปฏิบัติการของโรงเรียน
3. ชี้แจงวัตถุประสงค์ของการทดลองพร้อมทั้งอธิบายส่วนประกอบของชุดทดลอง
4. อธิบายและสาธิตวิธีการทดลอง พร้อมทั้งซักถามความเข้าใจของนักเรียน
5. ควบคุมและดูแลการทำการทดลองของนักเรียนให้เป็นไปตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้

แผนการจัดการเรียนรู้

กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์

วิชา ฟิสิกส์

เรื่อง สัมประสิทธิ์การขยายตัวของก๊าซ

สาระการเรียนรู้เพิ่มเติม

ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6

เวลา 2.00 ชั่วโมง

มาตรฐาน ว 5.1 เข้าใจความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานกับการดำรงชีวิต การเปลี่ยนรูปพลังงาน ปฏิสัมพันธ์ระหว่างสารและพลังงาน ผลของการใช้พลังงานต่อชีวิตและสิ่งแวดล้อม มีกระบวนการสืบเสาะหาความรู้ สื่อสารสิ่งที่เรียนรู้ และนำความรู้ไปใช้ประโยชน์

ผลการเรียนรู้ที่คาดหวัง

1. อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรของก๊าซและอุณหภูมิได้
2. อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างความดันของก๊าซและอุณหภูมิได้
3. สามารถทำการทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวของก๊าซได้

สาระการเรียนรู้

เมื่อสสารได้รับความร้อนจะมีการขยายตัว ซึ่งการขยายตัวนั้นจะมีอยู่ 3 รูปแบบขึ้นอยู่กับรูปร่างของสสารคือ การขยายตัวเชิงเส้น การขยายตัวเชิงพื้นที่และการขยายตัวเชิงปริมาตร ก๊าซจะมีการขยายตัวในเชิงปริมาตรเนื่องจากเมื่อได้รับความร้อนจะมีการขยายตัวในทุกทิศทาง

สัมประสิทธิ์การขยายตัวของก๊าซ (Gases Expansion Coefficient)

อเล็กซองดร์ เซซาร์ ชาร์ล (Jacques Alexander Cesar Charles) เป็นผู้ที่ได้ทำการทดลองวัดการเปลี่ยนแปลงของปริมาตรของก๊าซเมื่อเปลี่ยนอุณหภูมิตั้งแต่ปี พ.ศ.2330 และพบว่าถ้าทำให้ก๊าซร้อนขึ้นที่ความดันคงที่ ก๊าซจะขยายตัวมีปริมาตรเพิ่มขึ้นไปตามเศษส่วนของปริมาตรของก๊าซ

ที่ 0°C เท่า ๆ กันทุกองศาเซลเซียสที่เพิ่มขึ้น และเศษส่วนนั้นมีค่าประมาณ $\frac{1}{273} / ^{\circ}\text{C}$

ต่อมาในปีพ.ศ.2345 โจเซฟ-หลุยส์ เกย์-ลูสแซก (Joseph-Louis Gay-Lussac) ได้ทดลองตรวจสอบ “กฎของชาร์ล” โดยใช้นิยามของสัมประสิทธิ์การขยายตัวของก๊าซ

(Gases Expansion Coefficient ; γ) ที่กล่าวว่า “ปริมาตรก๊าซที่เปลี่ยนแปลงไปจากเดิมต่อหนึ่งหน่วยอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไป” สามารถนำมาเขียนสมการได้เป็น

$$\gamma = \frac{1}{V_0} \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

$$\gamma = \frac{1}{V_0} \frac{(V_t - V_0)}{(t - t_0)}$$

เมื่อ t_0 คืออุณหภูมิที่ 0°C เราจะได้

$$\gamma t V_0 = V_t - V_0$$

$$V_t = V_0 + V_0 \gamma t \quad (1)$$

$$V_t = V_0 (1 + \gamma t) \quad (2)$$

โดยที่ V_t = ปริมาตรของก๊าซที่ $t^\circ\text{C}$

V_0 = ปริมาตรของก๊าซที่ 0°C

γ = สัมประสิทธิ์การขยายตัวของก๊าซ (Gases Expansion Coefficient)

จากสมการที่ (1) จะเห็นได้ว่า ถ้าเขียนกราฟของปริมาตรและอุณหภูมิ จะได้เส้นตรงที่มีความชัน เท่ากับ $V_0 \gamma$ ซึ่งจะตัดเส้นแกนปริมาตรที่ V_0 จากค่า V_0 และความชันของเส้นตรงที่

วัดได้ คำนวณหาค่า γ ที่แน่นอนได้เป็น $\frac{1}{273.15} / ^\circ\text{C}$ หรือประมาณ $0.00366 / ^\circ\text{C}$

ดังนั้น

$$V_t = V_0 \left(1 + \frac{t}{273.15}\right) \quad (3)$$

ก๊าซปริมาตรน้อยลงเป็นลำดับเมื่ออุณหภูมิต่ำลง เมื่ออุณหภูมิต่ำมาก ๆ ก๊าซกลายเป็นของเหลว ถ้ายังคงเป็นก๊าซอยู่ ปริมาตรของก๊าซจะเป็น 0 ที่อุณหภูมิ -273.15°C

ตามสมการที่ (2)

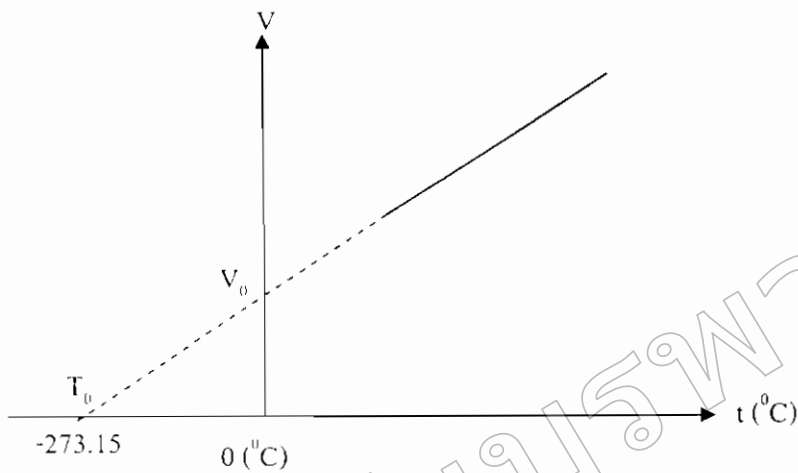
$$V_t = V_0 (1 + \gamma t)$$

$$V_{-273.15} = V_0 \left[1 + \left(\frac{1}{273.15}(-273.15)\right)\right]$$

$$V_{-273.15} = V_0 \left(1 - \frac{273.15}{273.15}\right)$$

$$V_{-273.15} = V_0 (1 - 1)$$

$$V_{-273.15} = 0$$



ภาพที่ ข-1 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับปริมาตรของก๊าซเมื่อความดันคงที่

อุณหภูมิ -273.15°C หรือ 0 K เรียกว่า **ศูนย์สัมบูรณ์** เป็นอุณหภูมิต่ำสุดที่มีอยู่ได้
อุณหภูมิต่ำกว่านี้ไม่มีอีกแล้ว มิฉะนั้นปริมาตรของก๊าซจะมีค่าเป็นลบ เส้นประในกราฟข้างต้น
เป็นเส้นที่ขีดลากต่อจากแนวโน้มของกราฟ เพราะก๊าซทุกชนิดเป็นของเหลวไปหมดก่อนถึง 0 K
นักเคมีและนักฟิสิกส์ยังไม่สามารถทำอุณหภูมิต่ำสุดคือ 0 K ได้ แต่ก็พยายามให้เข้าใกล้ไปได้มาก
คือสามารถทำได้ถึง 0.0015 K

$$T(\text{K}) = 273.15 + t(^{\circ}\text{C}) \tag{4}$$

ถ้าวัดปริมาตรและอุณหภูมิของแก๊สที่สถานะสองสถานะ คือ ปริมาตร V_1 ที่อุณหภูมิ $t_1^{\circ}\text{C}$
กับปริมาตร V_2 ที่อุณหภูมิ $t_2^{\circ}\text{C}$

ใช้สมการที่ (2) $V_1 = V_0(1 + \gamma t_1)$

จะได้ $V_1 = V_0(1 + \frac{t_1}{273.15})$

$$V_1 = \frac{V_0}{273.15}(273.15 + t_1) \tag{5}$$

และ $V_2 = V_0(1 + \frac{t_2}{273.15})$

$$V_2 = \frac{V_0}{273.15}(273.15 + t_2) \tag{6}$$

นำ $\frac{(5)}{(6)}$ จะได้ว่า $\frac{V_1}{V_2} = \frac{273.15 + t_1}{273.15 + t_2}$

$$\text{หรือ} \quad \frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2} \quad (7)$$

ดังนั้น $\frac{V}{T}$ จะมีค่าคงที่ (ความดันและจำนวนโมลคงที่)

กฎของชาร์ลและเกย์-ลูสแซก หรือกฎของชาร์ล จึงกล่าวได้อีกอย่างหนึ่งว่า “เมื่อความดันที่ปริมาตรของก๊าซที่มีมวลคงที่จำนวนหนึ่งเปลี่ยนไปเป็นปฏิกิริยาโดยตรงกับอุณหภูมิสัมบูรณ์”

กระบวนการเรียนรู้

1. ขั้นสร้างความสนใจ (เวลา 10 นาที)

1. ครูทบทวนเรื่องกฎของบอยล์ โดยถามนักเรียนว่า กฎของบอยล์มีใจความว่าอย่างไร (ความดันเป็นปฏิกิริยาผกผันกับปริมาตร)
2. ครูให้นักเรียน ร่วมกันยกตัวอย่างเหตุการณ์ในชีวิตประจำวันที่เป็นไปตามกฎของบอยล์
3. ครูกระตุ้นให้นักเรียนคิดว่า นอกจากความสัมพันธ์ระหว่างความดันและปริมาตรที่นักเรียนได้ศึกษาไปแล้ว อุณหภูมิยังมีความสัมพันธ์กับความดันและปริมาตรหรือไม่

2. ขั้นสำรวจและค้นหา (เวลา 1 ชั่วโมง 30 นาที)

1. ครูให้ความรู้โดยการบรรยายและอภิปรายในหัวข้อสัมประสิทธิ์การขยายตัวของก๊าซกฎของชาร์ล และเกย์-ลูสแซก
2. ครูนำเสนอการทดลองเรื่องการหาสัมประสิทธิ์การขยายตัวของก๊าซโดยมีลำดับดังต่อไปนี้
 - อธิบายทฤษฎีและการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวของก๊าซในการทดลอง
 - อธิบายวัตถุประสงค์ของการทดลอง
 - แนะนำอุปกรณ์การทดลอง
 - อธิบายและสาธิตวิธีการทดลอง
 - อธิบายวิธีการจัดกระทำข้อมูลที่ได้จากการทดลอง
3. ครูให้นักเรียนลงมือทำการทดลองโดยใช้คู่มือปฏิบัติการเป็นแนวทางในการทดลอง โดยที่ครูคอยควบคุมและดูแลการทำการทดลองของนักเรียนให้เป็นไปตามวัตถุประสงค์

4. เมื่อนักเรียนทำการทดลองเสร็จแล้ว ครูคอยควบคุมให้นักเรียนทำความสะอาดอุปกรณ์ และเก็บอย่างเป็นระเบียบ

3. ขั้นอภิปรายและลงข้อสรุป (เวลา 10 นาที)

1. ครูนำอภิปรายและซักถามนักเรียนเพื่อสรุปเนื้อหาด้วยคำถามต่อไปนี้

- จากการทดลอง ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรของก๊าซกับอุณหภูมิเป็นอย่างไร
- จากการทดลอง ความสัมพันธ์ระหว่างความดันของก๊าซกับอุณหภูมิเป็นอย่างไร
- ข้อมูลและผลที่ได้จากการทดลองมีความสัมพันธ์ตามกฎของชาร์ลและเกย์-ลูสแซกหรือไม่ อย่างไร

2. ครูสรุปเนื้อหาและผลการทดลองที่ได้ พร้อมทั้งอธิบายเพิ่มเติมว่าการทดลองนี้สามารถใช้ตรวจสอบทฤษฎีได้หรือไม่ อย่างไร

4. ขั้นขยายความรู้ (เวลา 10 นาที)

1. ครูให้นักเรียนร่วมกันยกตัวอย่างความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรกับอุณหภูมิ และความดันกับอุณหภูมิ ที่สามารถพบเห็นได้ในชีวิตประจำวัน
2. ครูมอบหมายให้นักเรียนกลับไปเขียนรายงานการทดลองเป็นการบ้านรายบุคคล แล้วนำมาส่งครูในคาบเรียนหน้า

5. ขั้นประเมิน

1. วัดความเข้าใจของนักเรียน โดยการสังเกต ความสนใจ ความตั้งใจเรียน การแสดงความคิดเห็น การตอบคำถามและการมีส่วนร่วมในกิจกรรมการเรียนรู้
2. ตรวจจากรายงานการทดลองของนักเรียนเป็นรายบุคคล

สื่อและแหล่งเรียนรู้

1. คู่มือปฏิบัติการเรื่องการหาสัมประสิทธิ์การขยายตัวของก๊าซ
2. ชุดทดลองการหาสัมประสิทธิ์การขยายตัวของก๊าซ

บันทึกหลังการจัดการเรียนรู้

ผลการจัดการเรียนรู้

.....

.....

.....

.....

ปัญหาที่พบ

.....

.....

.....

.....

แนวทางแก้ไขเพื่อปรับปรุงพัฒนา

.....

.....

.....

.....

ลงชื่อ _____ ผู้สอน

(นายลักษณะมงคล ธารวณา)

ความเห็นหัวหน้ากลุ่มสาระการเรียนรู้

.....

.....

.....

ลงชื่อ _____ หัวหน้ากลุ่มสาระการเรียนรู้

(นางสาวมันทนา อ่อนรัมย์)

ใบความรู้

เรื่อง สัมประสิทธิ์การขยายตัวของก๊าซ

(Gases Expansion Coefficient)

เมื่อสสารได้รับความร้อนจะมีการขยายตัว ซึ่งการขยายตัวนั้นจะมีอยู่ 3 รูปแบบขึ้นอยู่กับรูปร่างของสสารคือ การขยายตัวเชิงเส้น การขยายตัวเชิงพื้นที่และการขยายตัวเชิงปริมาตร ก๊าซจะมีการขยายตัวในเชิงปริมาตรเนื่องจากเมื่อได้รับความร้อนจะมีการขยายตัวในทุกทิศทาง

สัมประสิทธิ์การขยายตัวของก๊าซ (Gases Expansion Coefficient)

อาเล็กซองดร์ เซซาร์ ชาร์ล (Jacques-Alexander Cesar Charles) เป็นผู้ที่ได้ทำการทดลองวัดการเปลี่ยนแปลงของปริมาตรของก๊าซเมื่อเปลี่ยนอุณหภูมิตั้งแต่ปี พ.ศ.2330 และพบว่าถ้าทำให้ก๊าซร้อนขึ้นที่ความดันคงที่ ก๊าซจะขยายตัวมีปริมาตรเพิ่มขึ้นไปตามเศษส่วนของปริมาตรของก๊าซ

ที่ 0°C เท่า ๆ กันทุกองศาเซลเซียสที่เพิ่มขึ้น และเศษส่วนนั้นมีค่าประมาณ $\frac{1}{273}^{\circ}\text{C}$

ต่อมาในปีพ.ศ.2345 โจเซฟ-หลุยส์ เกย์-ลูสแซก (Joseph-Louis Gay-Lussac) ได้ทดลองตรวจสอบ “กฎของชาร์ล” โดยใช้นิยามของสัมประสิทธิ์การขยายตัวของก๊าซ

(Gases Expansion Coefficient ; γ) ที่กล่าวว่า “ปริมาตรก๊าซที่เปลี่ยนแปลงไปจากเดิมต่อหนึ่งหน่วยอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไป” สามารถนำมาเขียนสมการได้เป็น

$$\gamma = \frac{1}{V_0} \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

$$\gamma = \frac{1}{V_0} \frac{(V_t - V_0)}{(t - t_0)}$$

เมื่อ t_0 คืออุณหภูมิที่ 0°C เราจะได้

$$\gamma t V_0 = V_t - V_0$$

$$V_t = V_0 + V_0 \gamma t \quad (1)$$

$$V_t = V_0 (1 + \gamma t) \quad (2)$$

โดยที่ V_t แทนปริมาตรของก๊าซที่ $t^{\circ}\text{C}$

V_0 แทนปริมาตรของก๊าซที่ 0°C

γ แทนสัมประสิทธิ์การขยายตัวของก๊าซ (Gases Expansion Coefficient)

จากสมการที่ (1) จะเห็นได้ว่า ถ้าเขียนกราฟของปริมาตรและอุณหภูมิ จะได้เส้นตรงที่มีความชัน เท่ากับ $V_0\gamma$ ซึ่งจะตัดเส้นแกนปริมาตรที่ V_0 จากค่า V_0 และความชันของเส้นตรงที่วัดได้

คำนวณหาค่า γ ที่แน่นอนได้เป็น $\frac{1}{273.15} /^{\circ}\text{C}$ หรือประมาณ $0.00366 /^{\circ}\text{C}^{-1}$

$$\text{ดังนั้น} \quad V_t = V_0 \left(1 + \frac{t}{273.15} \right)$$

(3)

ก๊าซปริมาตรน้อยลงเป็นลำดับเมื่ออุณหภูมิต่ำลง เมื่ออุณหภูมิต่ำมาก ๆ ก๊าซกลายเป็นของเหลว ถ้ายังคงเป็นก๊าซอยู่ ปริมาตรของก๊าซจะเป็น 0 ที่อุณหภูมิ -273.15°C

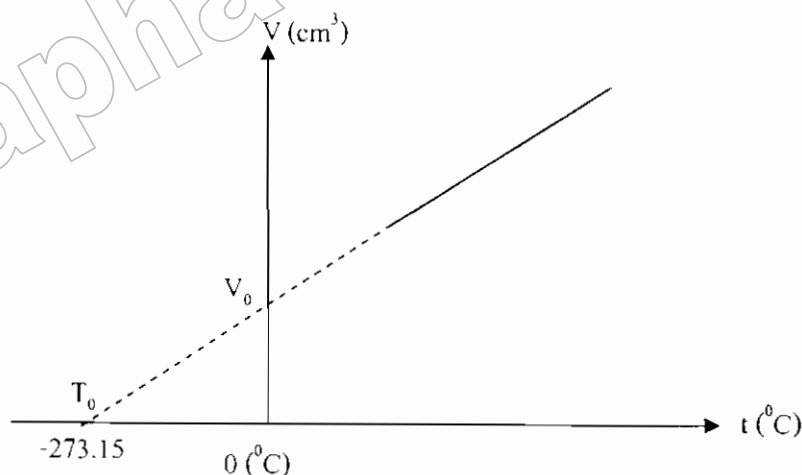
$$\text{ตามสมการที่ (2)} \quad V_t = V_0 (1 + \gamma t)$$

$$V_{-273.15} = V_0 \left[1 + \left(\frac{1}{273.15} (-273.15) \right) \right]$$

$$V_{-273.15} = V_0 \left(1 - \frac{273.15}{273.15} \right)$$

$$V_{-273.15} = V_0 (1 - 1)$$

$$V_{-273.15} = 0$$



ภาพที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับปริมาตรของก๊าซเมื่อความดันคงที่

อุณหภูมิ -273.15°C หรือ 0 K เรียกว่า **ศูนย์สัมบูรณ์** เป็นอุณหภูมิต่ำสุดที่มีอยู่ได้
อุณหภูมิต่ำกว่านี้ไม่มีอีกแล้ว มิฉะนั้นปริมาตรของก๊าซจะมีค่าเป็นลบ เส้นประในกราฟข้างต้น

เห็นเส้นที่ขีดลากต่อจากแนวโน้มของกราฟ เพราะก๊าซทุกชนิดเป็นของเหลวไปหมดก่อนถึง 0 K นักเคมีและนักฟิสิกส์ยังไม่สามารถทำอุณหภูมิต่ำสุดคือ 0 K ได้ แต่ก็พยายามให้เข้าใกล้ไปได้มาก คือสามารถทำให้ต่ำถึง 0.0015 K

$$T(K) = 273.15 + t(^{\circ}C) \quad (4)$$

ถ้าวัดปริมาตรและอุณหภูมิของแก๊สที่สถานะสองสถานะ คือ ปริมาตร V_1 ที่อุณหภูมิ $t_1^{\circ}C$ กับปริมาตร V_2 ที่อุณหภูมิ $t_2^{\circ}C$

ใช้สมการที่ (5) $V_t = V_0(1 + \gamma t)$

จะได้ $V_1 = V_0(1 + \frac{t_1}{273.15})$

$$V_1 = \frac{V_0}{273.15}(273.15 + t_1) \quad (5)$$

และ $V_2 = V_0(1 + \frac{t_2}{273.15})$

$$V_2 = \frac{V_0}{273.15}(273.15 + t_2) \quad (6)$$

นำ $\frac{(5)}{(6)}$ จะได้ว่า $\frac{V_1}{V_2} = \frac{273.15 + t_1}{273.15 + t_2}$

หรือ $\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2} \quad (7)$

ดังนั้น $\frac{V}{T}$ จะมีค่าคงที่ (ความดันและจำนวนโมลคงที่)

กฎของชาร์ลและเกย์-ลูสแซก หรือกฎของชาร์ล จึงกล่าวได้อีกอย่างหนึ่งว่า “เมื่อความดันคงที่ปริมาตรของก๊าซที่มีมวลคงที่จำนวนหนึ่งเปลี่ยนไปเป็นปฏิภาคโดยตรงกับอุณหภูมิสัมบูรณ์”

ใบงานการทดลอง

เรื่อง การหาค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวของก๊าซ

ชุดทดลองนี้เป็นการทดลองหาสัมประสิทธิ์การขยายตัวของก๊าซโดยแบ่งออกเป็น 2 ตอน ดังนี้

ตอนที่ 1 การทดลองหาสัมประสิทธิ์การขยายตัวของก๊าซโดยใช้กระบวนการ
ความดันคงที่

ตอนที่ 2 การทดลองหาสัมประสิทธิ์การขยายตัวของก๊าซโดยใช้กระบวนการ
ปริมาตรคงที่

หลักการและเหตุผล

สัมประสิทธิ์การขยายตัวของก๊าซเป็นค่าคงที่ที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของปริมาตรของ
ก๊าซเมื่อเปลี่ยนอุณหภูมิ ซึ่งจะเ็นรากฐานสำคัญในการนำไปสู่การหาค่าอุณหภูมิศูนย์สัมบูรณ์
การทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวของก๊าซใช้ในการตรวจสอบทฤษฎี โดยใช้หลักการ
พื้นฐานตามกฎของชาร์ลและเกย์-ลุสแซก ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญที่ผู้เรียนจะต้องเรียนรู้และตอบข้อสงสัย
ของตัวเอง

การทดลองเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวของก๊าซ สามารถทำได้สองวิธีคือ การ
ทดลองหาสัมประสิทธิ์การขยายตัวของก๊าซโดยใช้กระบวนการความดันคงที่และการทดลองหา
สัมประสิทธิ์การขยายตัวของก๊าซโดยใช้กระบวนการปริมาตรคงที่

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรของก๊าซและอุณหภูมิ
2. เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความดันของก๊าซและอุณหภูมิ
3. เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวของก๊าซ

ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรของก๊าซและอุณหภูมิได้
2. สามารถอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างความดันของก๊าซและอุณหภูมิได้
3. สามารถหาและเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวของก๊าซกับค่ามาตรฐานได้

ทฤษฎี

การหาค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวของก๊าซโดยใช้กระบวนการความดันคงที่

(Isobaric Process)

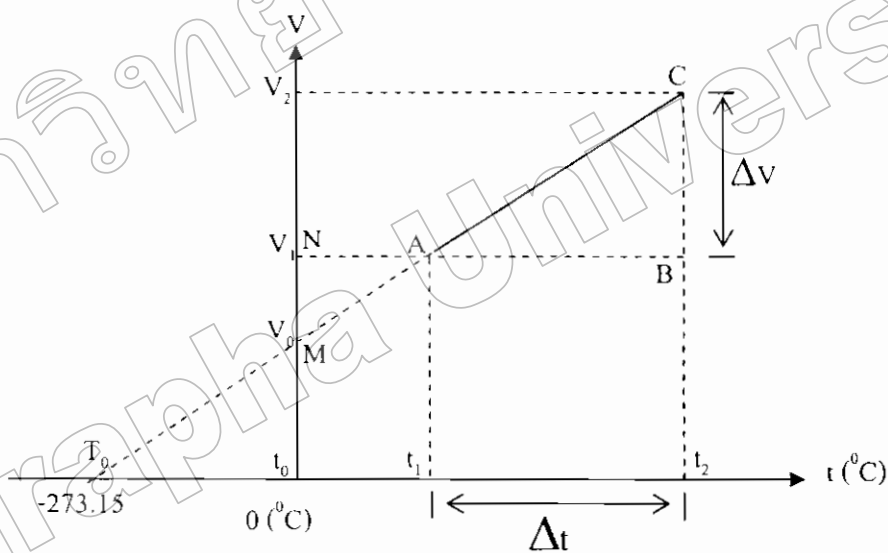
การหาค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อนเชิงปริมาตร โดยใช้กระบวนการ

ความดันคงที่สามารถที่จะหาได้โดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรก๊าซอุดมคติกับ

อุณหภูมิ: $V = f(t^0)$ โดยความดันคงที่ สำหรับกระบวนการความดันคงที่สามารถแสดงได้ด้วย

$$\begin{aligned} \text{สมการ} \quad V_1 &= V_0(1 + \gamma t) \\ \text{หรือ} \quad V_1 &= V_0 + V_0 \gamma t \end{aligned} \quad (1)$$

โดยที่ V_0 คือปริมาตรของก๊าซที่ 0 องศาเซลเซียส ความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงนี้ แสดงไว้ใน รูปที่ 1



ภาพที่ 1 กราฟของกระบวนการความดันคงที่

เส้นตรงตัดผ่านแกนอน ที่อุณหภูมิศูนย์องศาสัมบูรณ์ T_0 และตัดแกนตั้งที่ ปริมาตรก๊าซที่ 0 องศาเซลเซียส V_0 เพื่อที่จะหาค่า V_0 จึงจำเป็นต้องหาค่าปริมาตร V_1, V_2 และอุณหภูมิ t_1, t_2 จากกราฟที่ได้จากการทดลองในขณะที่ความดันคงที่

รูปที่ 1 แสดงให้เห็นว่าสามเหลี่ยม MNA และ ABC เป็นสามเหลี่ยมคล้าย

เพราะฉะนั้น

$$\frac{CB}{MN} = \frac{BA}{AN}$$

เราจะได้

$$\frac{V_2 - V_1}{V_1 - V_0} = \frac{t_2 - t_1}{t_1 - 0}$$

$$V_2 t_1 - V_1 t_1 = (t_2 - t_1)(V_1 - V_0)$$

$$V_1 - V_0 = \frac{V_2 t_1 - V_1 t_1}{t_2 - t_1}$$

$$V_0 = V_1 - \left(\frac{V_2 t_1 - V_1 t_1}{t_2 - t_1} \right)$$

$$V_0 = V_1 - \left[\frac{(V_2 - V_1) t_1}{t_2 - t_1} \right] \quad (2)$$

นิยามความแตกต่างระหว่างปริมาตรเริ่มต้นและปริมาตรสุดท้ายในช่วงกราฟที่พิจารณาเป็น ΔV

โดยที่ $\Delta V = V_2 - V_1$ (3)

และนิยามความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิเริ่มต้นและอุณหภูมิสุดท้ายในช่วงกราฟที่พิจารณาเป็น

โดยที่ $\Delta t = t_2 - t_1$ (4)

นำสมการที่ (3) และ (4) แทนค่าลงในสมการที่ (2) จะได้ว่า

$$V_0 = V_1 - \left(\frac{t_1 \Delta V}{\Delta t} \right)$$

และกำหนดความชันของกราฟที่ได้จากการทดลอง

$$\text{Slope} = \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

ดังนั้นสำหรับค่า V_0 จะได้ว่า

$$V_0 = V_1 - \text{Slope}(t_1) \quad (5)$$

เพื่อหาค่า V_0 จะต้องหาค่า t_1, t_2, V_1, V_2 จากกราฟที่ได้จากการทดลองแล้วนำมาหา

ค่าความชันของกราฟเพื่อที่จะนำค่าความชันของกราฟที่ได้มาหาค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวของ

และจากสมการที่ (1) $V_t = V_0 + V_0 \gamma t$

จะได้ค่าความชันของกราฟ $\text{Slope} = V_0 \gamma$

ซึ่งจะสามารถหาค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวของก๊าซ γ ได้จากสมการ

$$\gamma = \frac{\text{Slope}}{V_0} \quad (6)$$

การหาค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อนเชิงปริมาตรโดยใช้

กระบวนการปริมาตรคงที่(Isochoric Process)

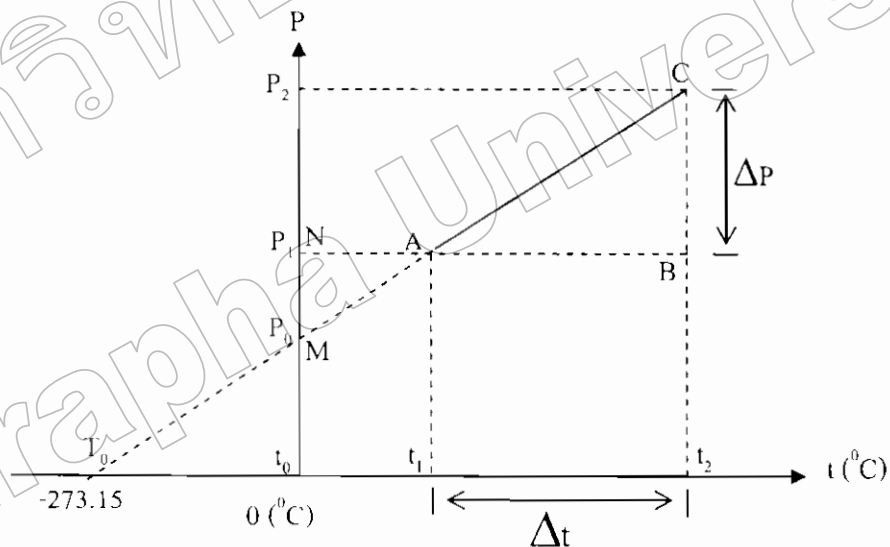
การหาค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อนเชิงปริมาตรโดยใช้กระบวนการปริมาตรคงที่ที่สามารถหาค่าได้โดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่างความดันของก๊าซอุดมคติกับอุณหภูมิ $p = f(t)$ โดยปริมาตรคงที่ สำหรับกระบวนการปริมาตรคงที่สามารถแสดงได้ด้วยสมการ

$$P_1 = P_0(1 + \gamma t)$$

หรือ

$$P_1 = P_0 + P_0 \gamma t \quad (7)$$

โดยที่ P_0 คือ ความดันของก๊าซที่ 0 องศาเซลเซียส ความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงนี้แสดงไว้ใน รูปที่ 2



ภาพที่ 2 กราฟของกระบวนการปริมาตรคงที่

เส้นตรงตัดผ่านแกนนอน ที่อุณหภูมิศูนย์องศาสัมบูรณ์ T_0 และตัดแกนตั้งที่ความดันก๊าซที่ 0 องศาเซลเซียส P_0 เพื่อที่จะหาค่า P_0 จึงจำเป็นที่จะต้องหาค่าความดัน P_1, P_2 และอุณหภูมิ t_1, t_2 จากกราฟที่ได้จากการทดลองในขณะที่ปริมาตรคงที่

รูปที่ 2 แสดงให้เห็นว่าสามเหลี่ยม MNA และ ABC เป็นสามเหลี่ยมคล้าย

เพราะฉะนั้น

$$\frac{CB}{MN} = \frac{BA}{AN}$$

เราจะได้

$$\frac{P_2 - P_1}{P_1 - P_0} = \frac{t_2 - t_1}{t_1 - 0}$$

$$P_2 t_1 - P_1 t_1 = (t_2 - t_1)(P_1 - P_0)$$

$$P_1 - P_0 = \frac{P_2 t_1 - P_1 t_1}{t_2 - t_1}$$

$$P_0 = P_1 - \left(\frac{P_2 t_1 - P_1 t_1}{t_2 - t_1} \right)$$

$$P_0 = P_1 - \left[\frac{(P_2 - P_1)t_1}{t_2 - t_1} \right] \quad (8)$$

นิยามความแตกต่างระหว่างความดันเริ่มต้นและความดันสุดท้ายในช่วงกราฟที่พิจารณาเป็น ΔP

โดยที่ $\Delta P = P_2 - P_1$ (9)

และนิยามความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิเริ่มต้นและอุณหภูมิสุดท้ายในช่วงกราฟที่พิจารณาเป็น

Δt ตามสมการที่ (4) $\Delta t = t_2 - t_1$

นำสมการที่ (4) และ (9) แทนค่าลงในสมการที่ (8) จะได้ว่า

$$P_0 = P_1 - \left(\frac{t_1 \Delta P}{\Delta t} \right)$$

และกำหนดความชันของกราฟที่ได้จากการทดลอง

$$\text{Slope} = \frac{\Delta P}{\Delta t}$$

ดังนั้นสำหรับค่า P_0 จะได้ว่า $P_0 = P_1 - \text{Slope}(t_1)$ (10)

เพื่อหาค่า P_0 จะต้องหาค่า t_1, t_2, P_1, P_2 จากกราฟที่ได้จากการทดลองแล้วนำมาหา

ค่าความชันของกราฟเพื่อที่จะนำค่าความชันของกราฟที่ได้มาหาค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวของ

ก๊าซและจากสมการที่ (7) $P_t = P_0 + P_0 \gamma t$

จะได้ค่าความชันของกราฟ $\text{Slope} = P_0 \gamma$

ซึ่งจะสามารถหาค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวของก๊าซ γ ได้จากสมการ

$$\gamma = \frac{\text{Slope}}{P_0} \quad (11)$$

อุปกรณ์การทดลอง

1. ภาชนะโลหะที่ปิดสนิท
2. เครื่องวัดความดันของก๊าซแบบดิจิทัล (Digital Pressure Gauge) โดยมีวาล์ว 2 ตัว
3. บีกเกอร์ขนาด 2000 mL
4. เทอร์มอมิเตอร์
5. ขวดรูปชมพู่ขนาด 250 mL พร้อมจุกยางและก๊อกล
6. กระจกตวงขนาด 300 mL
7. เตาความร้อน (hot plate)
8. สายยางขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 เซนติเมตร
9. น้ำ
10. น้ำแข็งก้อนเล็ก

วิธีการทดลอง

ตอนที่ 1 การหาค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวของก๊าซโดยใช้กระบวนการความดันคงที่

1. เติมน้ำ 1000 mL ลงในบีกเกอร์ขนาด 2000 mL พร้อมกับนำไปต้มบนเตาความร้อนจนเดือด
2. ปิดจุกยางของขวดรูปชมพู่แล้วเปิดก๊อกลที่จุกยางเพื่อรักษาความดันในหลอดแก้วให้อยู่ที่ความดันบรรยากาศพร้อมกับจุ่มลงไปใบบีกเกอร์ซึ่งมีน้ำกำลังเดือด ทิ้งไว้ 2 นาที (ดูภาพที่ 3)



ภาพที่ 3 ขวดรูปชมพู่ ที่รักษาความดันในหลอดแก้วให้อยู่ที่ความดันบรรยากาศ
อยู่ในภาชนะที่มีน้ำกำลังเดือด

3. อากาศในขวดรูปชมพู่จะมีอุณหภูมิถึงอุณหภูมิของน้ำที่กำลังเดือด จะทำให้ความดันเพิ่มขึ้นและดันอากาศออกมาจากขวดรูปชมพู่ จนกระทั่งความดันภายในขวดรูปชมพู่เท่ากับความดันบรรยากาศ

4. ปิดก๊อก โดยกำหนดปริมาตรของอากาศในขวดรูปชมพู่เป็น V_2 ซึ่งเท่ากับ ปริมาตรของขวดรูปชมพู่และอุณหภูมิของน้ำกำลังเดือดด้วย t_2 ซึ่งวัดค่าได้จากเทอร์โมมิเตอร์

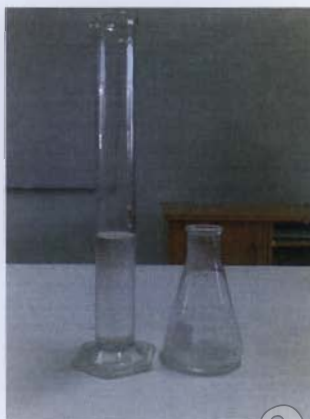
5. วางขวดรูปชมพู่โดยให้ก๊อกอยู่ด้านล่าง ในบีกเกอร์ที่ใส่น้ำซึ่งมีก้อนน้ำแข็งอยู่ด้วย เพื่อลดอุณหภูมิของอากาศในระบบ ทิ้งไว้ 2 นาที จนกระทั่งเกิดสมดุลความร้อน (อุณหภูมิคงที่)

6. เปิดก๊อกในน้ำ เป็นเวลา 2 นาที จนกระทั่งอากาศในขวดรูปชมพู่เย็นลงถึง อุณหภูมิของน้ำ t_1 ในระหว่างขั้นตอนนี้ความดันของอากาศในขวดรูปชมพู่ลดลงและน้ำบางส่วน ไหลเข้ามาในขวดแก้วรูปชมพู่ กระบวนการดำเนินต่อเนื่องจนกระทั่ง ความดันอากาศในขวดรูปชมพู่เท่ากับความดันบรรยากาศ ปริมาตรของอากาศลดลงถึง V_1 แล้วปิดก๊อกและวัดค่า t_1 (ดูภาพที่ 4)



ภาพที่ 4 ขวดรูปชมพู่บรรจุอากาศวางอยู่ในน้ำที่ถูกทำให้เย็น

7. นำขวดรูปชมพู่ออกจากน้ำ เอาจุกยางออกจากปากขวดและเทน้ำที่อยู่ในขวดรูปชมพู่ลงในกระบอกตวงวัดปริมาตร (ดูภาพที่ 5) เพื่อหาความแตกต่างของปริมาตร (ΔV)



ภาพที่ 5 การวัดความแตกต่างของปริมาตร

8. วัดปริมาตรเริ่มต้น V_2 ของขวดรูปชมพู่ โดยการเติมน้ำลงในขวดรูปชมพู่จนเต็ม แล้ววัดปริมาตรของน้ำด้วยกระบอกตวงวัดปริมาตร จะได้ปริมาตรเริ่มต้นของอากาศ V_2

9. คำนวณค่า V_1 จากสมการที่ (3) $\Delta v = V_2 - V_1$ หรือ $V_1 = V_2 - \Delta v$

10. ทดลองซ้ำจากข้อที่ 1 ถึงข้อที่ 9 อีก 4 ครั้ง โดยควบคุม V_2 และ t_2 ให้คงที่ และใช้อุณหภูมิ t_1 ที่สูงขึ้นจากเดิม แล้ววัดค่า V_1 จากการทดลอง จะทำให้ได้ค่าของ V_1 และ t_1 อีก 4 ค่า

11. นำค่าที่ได้จากการทดลองของ V_1, V_2, t_1 และ t_2 ทั้งหมดมาวาดลงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรและอุณหภูมิ โดยให้แกนตั้งเป็นปริมาตรและแกนนอนเป็นอุณหภูมิ แล้วทำการเปลี่ยนกราฟให้เป็นกราฟเส้นตรง (หรืออาจวาดกราฟในโปรแกรม Microsoft Excel)

12. เลือกจุดที่พิจารณาบนกราฟที่ได้จากการทดลองสองจุดแล้วคำนวณหาความชันของกราฟ (หรืออาจใช้ความชันของกราฟจากสมการที่ได้จากกราฟในโปรแกรม Microsoft Excel ตามรูปของสมการเชิงเส้น $y = mx + C$)

13. นำความชันของกราฟที่ได้จากข้อที่ 12 และค่า V_1 (จากกราฟที่ได้) มาคำนวณหา V_0 ซึ่งเป็นจุดตัดแกน y ตามสมการที่ (5) (หรืออาจใช้ค่า C ซึ่งเป็นจุดตัดแกน y ของกราฟจากสมการที่ได้จากกราฟในโปรแกรม Microsoft Excel เป็นค่า V_0)

14. นำค่า V_0 ที่ได้จากข้อ 13 และความชันของกราฟมาคำนวณหาสัมประสิทธิ์การขยายตัวของก๊าซ ตามสมการที่ (6)

15. นำค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวของก๊าซ γ ที่ได้จากการทดลองมาเปรียบเทียบกับทฤษฎีแล้วคำนวณหาร้อยละความคลาดเคลื่อนจากการทดลอง

ตอนที่ 2 การหาค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวของก๊าซโดยใช้กระบวนการปริมาตรคงที่

1. เติมน้ำลงในบีกเกอร์ขนาด 2000 mL พร้อมเติมน้ำแข็งลงในบีกเกอร์
2. ใส่ภาชนะโลหะที่ปิดสนิทและต่อระบบกับ Pressure Gauge ลงไปในภาชนะที่บรรจุน้ำ โดยเปิดวาล์วของ Pressure Gauge เพื่อให้ระบบถูกต่อกับบรรยากาศทิ้งไว้ 2 นาที จนอุณหภูมิของอากาศในระบบเท่ากับอุณหภูมิของน้ำ (ดูภาพที่ 6)
3. ปิดวาล์วของ Pressure Gauge จะทำให้ระบบถูกแยกจากบรรยากาศ ซึ่งวิธีนี้จะทำให้ปริมาตรของอากาศในขวดโหลมีค่าคงที่ โดยมีอุณหภูมิเริ่มต้นที่ t_1 ที่ความดันบรรยากาศ P_1
4. บันทึกความดัน P_1 และอุณหภูมิ t_1



ภาพที่ 6 การติดตั้งการทดลองโดยใช้กระบวนการปริมาตรคงที่ ซึ่งใช้ภาชนะโลหะที่ปิดสนิทจุ่มลงในภาชนะที่มีน้ำผสมน้ำแข็ง

5. นำภาชนะโลหะที่ปิดสนิทไปวางอยู่ในภาชนะบรรจุน้ำกำลังเดือดที่วางอยู่บนเตาความร้อน ทิ้งไว้ 2 นาที (ดูภาพที่ 7)



ภาพที่ 7 น้ำในภาชนะถูกต้มให้เดือดโดยใช้เตาความร้อน
ให้ความร้อนกับอากาศที่มีอยู่ในภาชนะโลหะ

6. หลังจากอากาศในภาชนะโลหะได้เพิ่มขึ้นจนถึงอุณหภูมิของน้ำที่เดือด (อุณหภูมิสมดุล) และความดันมีค่าคงที่ อ่านค่าความดันของอากาศภายในขวดปากกว้างจาก Pressure Gauge แล้วบันทึกความดัน P_2 และอุณหภูมิ t_2

7. ทดลองซ้ำจากข้อที่ 1 ถึงข้อที่ 6 อีก 4 ครั้ง โดยใช้ช่วงอุณหภูมิที่ต่างกัน แล้วบันทึกค่าความดันจาก Pressure Gauge ที่อุณหภูมิต่างๆ จะทำให้ได้ค่าของ P_2 และ t_2 อีก 4 ค่า

8. นำค่าที่ได้จากการทดลองของ P_1, P_2, t_1 และ t_2 มาวาดกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความดันและอุณหภูมิ โดยให้แกนตั้งเป็นความดันและแกนนอนเป็นอุณหภูมิ แล้วทำการเกลี่ยกราฟให้เป็นกราฟเส้นตรง (หรืออาจวาดกราฟในโปรแกรม Microsoft Excel)

9. เลือกจุดที่พิจารณาบนกราฟที่ได้จากการทดลองสองจุดแล้วคำนวณหาความชันของกราฟ (หรืออาจใช้ความชันของกราฟจากสมการที่ได้จากกราฟในโปรแกรม Microsoft Excel ตามรูปของสมการเชิงเส้น $y = mx + C$)

10. นำความชันของกราฟที่ได้จากข้อที่ 9 และค่า P_1 (จากกราฟที่ได้) มาคำนวณหา P_0 ซึ่งเป็นจุดตัดแกน y ตามสมการที่ (10) (หรืออาจใช้ค่า C ซึ่งเป็นจุดตัดแกน y ของกราฟจากสมการที่ได้จากกราฟในโปรแกรม Microsoft Excel เป็นค่า P_0)

11. นำค่า P_0 ที่ได้จากการข้อ 10 และความชันของกราฟมาคำนวณหาความสัมพันธ์การขยายตัวของก๊าซเชิงความดัน γ_p ตามสมการที่ (11)

13. นำค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวของก๊าซมาเปรียบเทียบกับทฤษฎีแล้วคำนวณหาร้อยละความคลาดเคลื่อนจากการทดลอง

การบันทึกผลการทดลองและการจัดกระทำข้อมูลจากการทดลอง

ตอนที่ 1 การหาค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวของก๊าซโดยใช้กระบวนการความดันคงที่

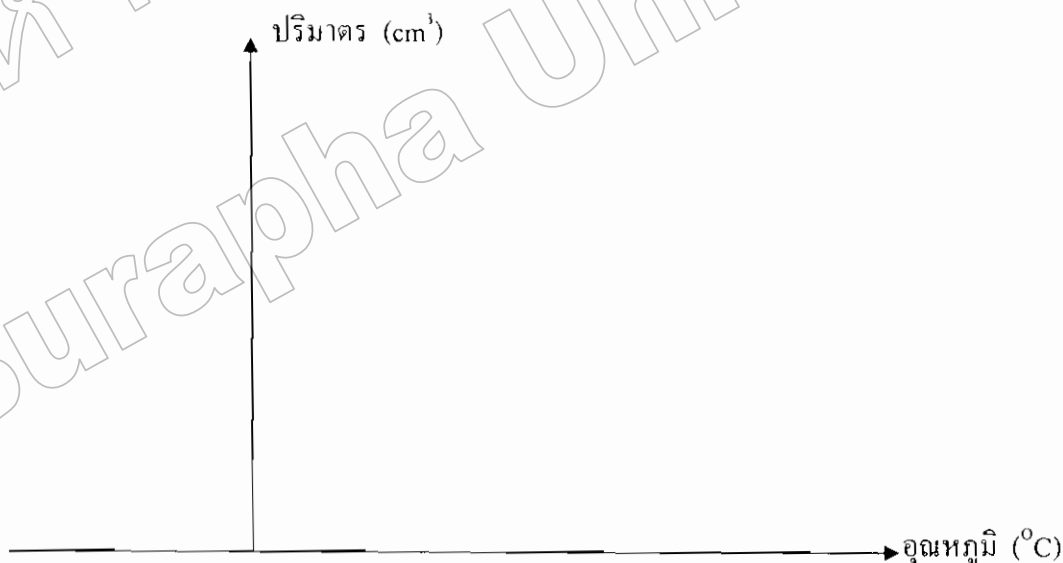
ตารางบันทึกผลการทดลอง

อุณหภูมิของน้ำเดือด $t_2 = \text{---} \text{---}^{\circ}\text{C}$

ปริมาตรของขวดรูปชมพู่ $V_2 = \text{---} \text{---} \text{cm}^3$

ครั้งที่	ΔV (cm^3)	V_1 ($V_2 - \Delta V$) (cm^3)	t_1 ($^{\circ}\text{C}$)
1			
2			
3			
4			
5			

กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรของก๊าซและอุณหภูมิจากตารางบันทึกผลการทดลอง



เลือกจุดบนกราฟเพื่อนำมาพิจารณา 2 จุด แล้วคำนวณค่าความชันดังต่อไปนี้

$$V_1 = \text{---} \text{cm}^3 \quad V_2 = \text{---} \text{cm}^3 \quad \Delta V = V_2 - V_1 = \text{---} \text{cm}^3$$

$$t_1 = \text{---}^{\circ}\text{C} \quad t_2 = \text{---}^{\circ}\text{C} \quad \Delta t = t_2 - t_1 = \text{---}^{\circ}\text{C}$$

$$\text{Slope} = \frac{\Delta V}{\Delta t} = \text{_____} \text{ cm}^3/^{\circ}\text{C}$$

นำความชันของกราฟที่ได้มาคำนวณหา V_0 ดังนี้

$$V_0 = V_1 - \text{Slope}(t_1) = \text{_____} \text{ cm}^3$$

นำค่า V_0 มาคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวของก๊าซ γ ดังนี้

$$\gamma = \frac{\text{Slope}}{V_0} = \text{_____} ^{\circ}\text{C}^{-1}$$

คำนวณหาร้อยละความคลาดเคลื่อน (% error) จากการทดลอง

$$\text{ร้อยละความคลาดเคลื่อน} = \frac{|\text{ค่าที่ได้จากการทดลอง} - \text{ค่ามาตรฐาน}|}{\text{ค่ามาตรฐาน}} \times 100$$

การทดลองครั้งนี้มีความคลาดเคลื่อน ร้อยละ _____

ตอนที่ 2 การหาค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวของก๊าซโดยใช้กระบวนการปริมาตรคงที่

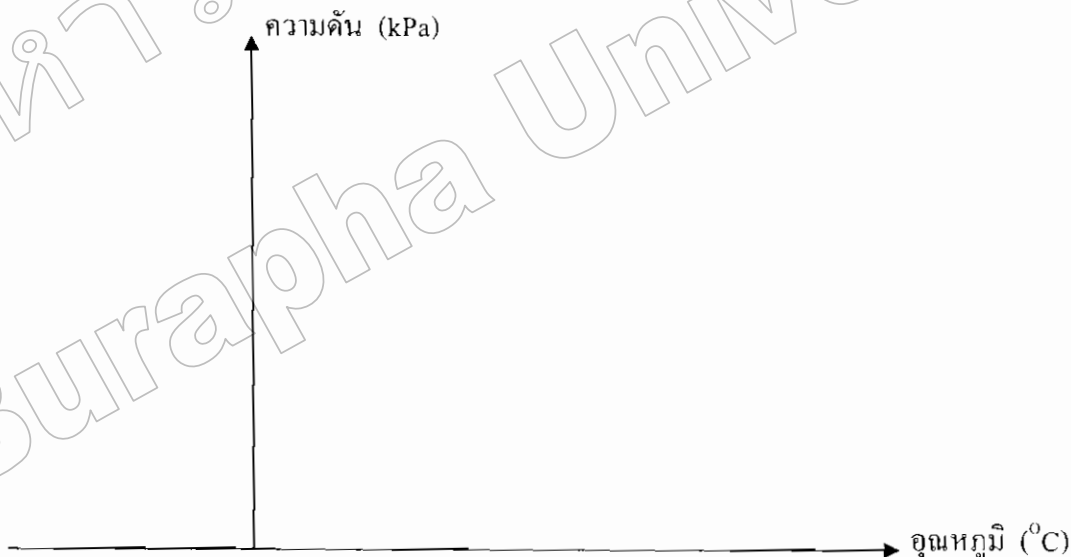
ตารางบันทึกผลการทดลอง

อุณหภูมิเริ่มต้นของน้ำ $t_1 = \text{---} \text{ } ^\circ\text{C}$

ความดันเริ่มต้น $P_1 = 101.3 \text{ kPa (1 atm)}$

ครั้งที่	P_2 kPa	t_2 ($^\circ\text{C}$)
1		
2		
3		
4		
5		

กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความดันของก๊าซและอุณหภูมิจากตารางบันทึกผลการทดลอง



เลือกจุดบนกราฟเพื่อนำมาพิจารณา 2 จุด แล้วคำนวณค่าความชันดังต่อไปนี้

$$P_1 = \text{---} \text{ kPa} \quad P_2 = \text{---} \text{ kPa} \quad \Delta P = P_2 - P_1 = \text{---} \text{ kPa}$$

$$t_1 = \text{---} \text{ } ^\circ\text{C} \quad t_2 = \text{---} \text{ } ^\circ\text{C} \quad \Delta t = t_2 - t_1 = \text{---} \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\text{Slope} = \frac{\Delta P}{\Delta t} = \text{---} \text{ kPa / } ^\circ\text{C}$$

นำความชันของกราฟที่ได้มาคำนวณหา P_0 ดังนี้

$$P_0 = P_1 - \text{Slope}(t_1) - \text{_____ kPa}$$

นำค่า P_0 มาคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวของก๊าซ γ ดังนี้

$$\gamma = \frac{\text{Slope}}{P_0} - \text{_____ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

คำนวณหาร้อยละความคลาดเคลื่อน (% error) จากการทดลอง

$$\text{ร้อยละความคลาดเคลื่อน} = \frac{|\text{ค่าที่ได้จากการทดลอง} - \text{ค่ามาตรฐาน}|}{\text{ค่ามาตรฐาน}} \times 100$$

การทดลองครั้งนี้มีความคลาดเคลื่อน ร้อยละ _____

คำถามนำไปสู่การอภิปรายผลการทดลอง

1. จากการทดลองความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรของก๊าซกับอุณหภูมิเป็นอย่างไร
2. จากการทดลองความสัมพันธ์ระหว่างความดันของก๊าซกับอุณหภูมิเป็นอย่างไร
3. ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวของก๊าซที่ได้จากการทดลองกับค่ามาตรฐานมีความคลาดเคลื่อนอย่างไรและถือว่าเป็นผลการทดลองที่ใช้ได้หรือไม่
4. ข้อมูลและผลที่ได้จากการทดลองมีความสัมพันธ์ตามกฎของชาร์ลและเกย์-ลูสแซกหรือไม่ อย่างไร

การอภิปรายผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

สรุปผลการทดลอง

ตัวอย่าง การบันทึกผลการทดลองและการจัดกระทำข้อมูลจากการทดลอง

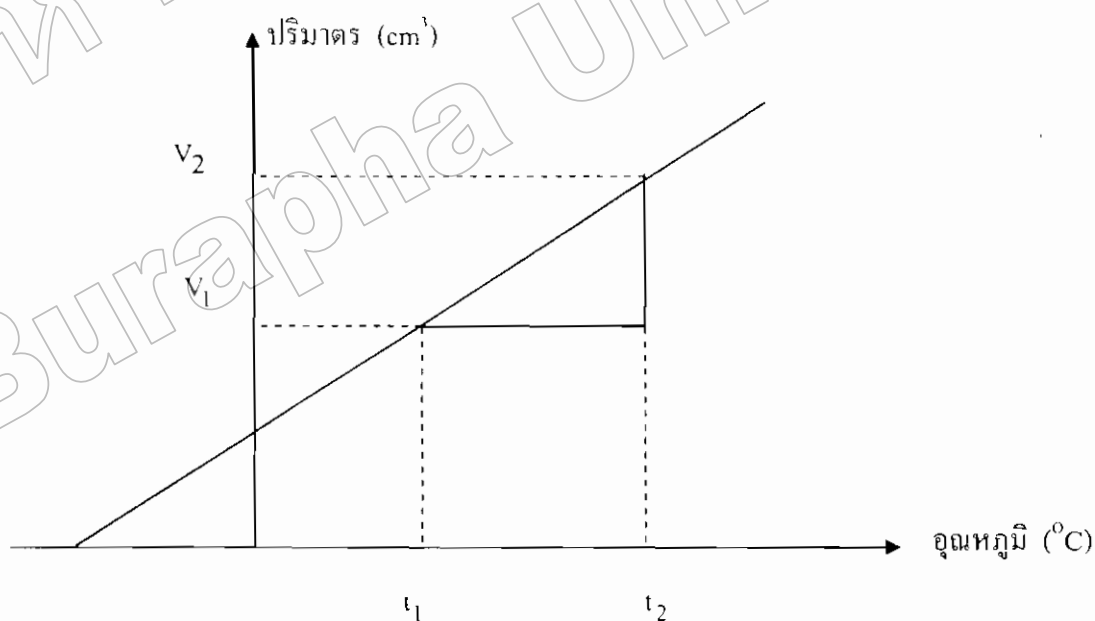
ตอนที่ 1 การหาค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวของก๊าซโดยใช้กระบวนการความดันคงที่

อุณหภูมิของน้ำเดือด $t_2 = 96\text{ }^{\circ}\text{C}$

ปริมาตรของขวดรูปชมพู่ $V_2 = 282\text{ cm}^3$

ครั้งที่	ΔV (cm^3)	V_1 ($V_2 - \Delta V$) (cm^3)	t_1 ($^{\circ}\text{C}$)
1	72	210	1
2	58	224	20
3	50	232	30
4	43	239	40
5	35	247	50

กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรของก๊าซและอุณหภูมิจากตารางบันทึกผลการทดลอง



ตัวอย่างการเลือกจุดบนกราฟเพื่อนำมาพิจารณา 2 จุด และการคำนวณค่าความชัน

$$V_1 = 232 \text{ cm}^3 \quad V_2 = 257 \text{ cm}^3 \quad \Delta V = V_2 - V_1 = 25 \text{ cm}^3$$

$$t_1 = 30^\circ\text{C} \quad t_2 = 60^\circ\text{C} \quad \Delta t = t_2 - t_1 = 30^\circ\text{C}$$

$$\text{Slope} = \frac{\Delta V}{\Delta t} = \frac{25}{30} = 0.833 \text{ cm}^3/^\circ\text{C}$$

นำความชันของกราฟที่ได้มาคำนวณหา V_0 ดังนี้

$$V_0 = V_1 - \text{Slope}(t_1) = 232.01 \text{ cm}^3$$

นำค่า V_0 มาคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวของก๊าซ γ ดังนี้

$$\gamma = \frac{\text{Slope}}{V_0} = 0.00359^\circ\text{C}^{-1}$$

คำนวณหาร้อยละความคลาดเคลื่อน (% error) จากการทดลอง

$$\text{ร้อยละความคลาดเคลื่อน} = \frac{|\text{ค่าที่ได้จากการทดลอง} - \text{ค่ามาตรฐาน}|}{\text{ค่ามาตรฐาน}} \times 100$$

$$\text{ร้อยละความคลาดเคลื่อน} = \frac{|0.00359 - 0.00366|}{0.00366} \times 100$$

การทดลองครั้งนี้มีความคลาดเคลื่อน ร้อยละ 1.91

ตอนที่ 2 การหาค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวของก๊าซโดยใช้กระบวนการปริมาตรคงที่

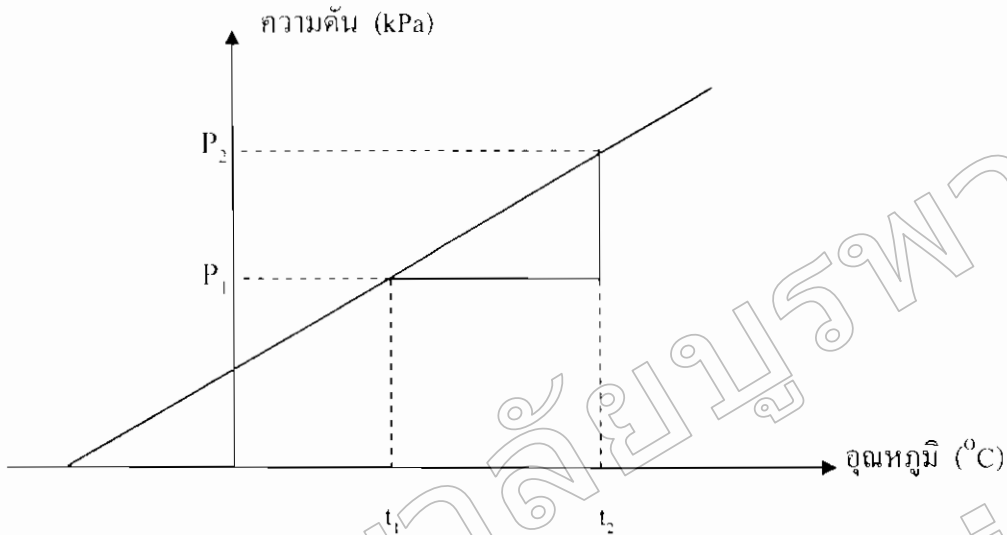
ตารางบันทึกผลการทดลอง

อุณหภูมิเริ่มต้นของน้ำ $t_1 = 1^\circ\text{C}$

ความดันเริ่มต้น $P_1 = 101.3 \text{ kPa (1 atm)}$

ครั้งที่	P_2 kPa	t_2 ($^\circ\text{C}$)
1	108.5	20
2	115.4	40
3	122.6	60
4	129.2	80
5	137.7	96

กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความดันของก๊าซและอุณหภูมิจากตารางบันทึกผลการทดลอง



ตัวอย่างการเลือกจุดบนกราฟเพื่อนำมาพิจารณา 2 จุด และการคำนวณค่าความชัน

$$P_1 = 108.5 \text{ kPa} \quad P_2 = 119 \text{ kPa} \quad \Delta P = P_2 - P_1 = 10.5 \text{ kPa}$$

$$t_1 = 20^\circ\text{C} \quad t_2 = 50^\circ\text{C} \quad \Delta t = t_2 - t_1 = 30^\circ\text{C}$$

$$\text{Slope} = \frac{\Delta P}{\Delta t} = \frac{10.5}{30} = 0.35 \text{ kPa}/^\circ\text{C}$$

นำความชันของกราฟที่ได้มาคำนวณหา P_0 ดังนี้

$$P_0 - P_1 - \text{Slope}(t_1) = 101.5 \text{ kPa}$$

นำค่า P_0 มาคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวของก๊าซ γ ดังนี้

$$\gamma = \frac{\text{Slope}}{P_0} = 0.00345^\circ\text{C}^{-1}$$

คำนวณหาร้อยละความคลาดเคลื่อน (% error) จากการทดลอง

$$\text{ร้อยละความคลาดเคลื่อน} = \frac{|\text{ค่าที่ได้จากการทดลอง} - \text{ค่ามาตรฐาน}|}{\text{ค่ามาตรฐาน}} \times 100$$

$$\text{ร้อยละความคลาดเคลื่อน} = \frac{|0.00345 - 0.00366|}{0.00366} \times 100$$

การทดลองครั้งนี้มีความคลาดเคลื่อน ร้อยละ 5.74

ตัวอย่าง การอภิปรายผลการทดลอง

การทดลองเรื่องการหาค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวของก๊าซได้แบ่งเป็น 2 ตอน ดังนี้

ตอนที่ 1 เป็นการทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวของก๊าซโดยใช้กระบวนการความดันคงที่ โดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรและอุณหภูมิ พบว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ปริมาตรของก๊าซจะเพิ่มตาม ซึ่งเป็นไปตามกฎของชาร์ล ในการทดลองนี้ได้ทำการทดลองทั้งหมด 5 ครั้งโดยใช้ช่วงอุณหภูมิที่ต่างกันและนำมาวาดกราฟโดยให้แกนตั้งเป็นปริมาตรและแกนนอนเป็นอุณหภูมิเพื่อหาความชันของกราฟตามสมการ $\text{slope} = \frac{\Delta V}{\Delta t}$ ซึ่งได้ความชันเท่ากับ $0.833 \text{ cm}^3/^{\circ}\text{C}$ และ

จุดตัดแกน y ซึ่งเป็นปริมาตรก๊าซที่ 0°C (V_0) ซึ่งคำนวณได้จากสมการ $V_0 = V_1 - \text{Slope}(t_1)$ ซึ่งได้ค่า $V_0 = 232.01 \text{ cm}^3$ และหลังจากนั้นมาคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวของก๊าซ (γ)

จากสมการ $\gamma = \frac{\text{Slope}}{V_0}$ ซึ่งได้ค่า $\gamma = 0.00359^{\circ}\text{C}^{-1}$ หลังจากนั้นนำมาเปรียบเทียบกับค่า

มาตรฐานคือ $0.00366^{\circ}\text{C}^{-1}$ พบว่าการทดลองครั้งนี้มีความคลาดเคลื่อนร้อยละ 1.91

ตอนที่ 2 เป็นการทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวของก๊าซโดยใช้กระบวนการปริมาตรคงที่ โดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่างความดันและอุณหภูมิ พบว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ความดันของก๊าซจะเพิ่มตาม ซึ่งเป็นไปตามกฎของเกย์-ลูสแซก ในการทดลองนี้ได้ทำการทดลองทั้งหมด 5 ครั้งโดยใช้ช่วงอุณหภูมิที่ต่างกันและนำมาวาดกราฟโดยให้แกนตั้งเป็นความดันและแกนนอนเป็นอุณหภูมิเพื่อหาความชันของกราฟตามสมการ $\text{slope} = \frac{\Delta P}{\Delta t}$ ซึ่งได้ความชันเท่ากับ

$0.35 \text{ kPa}/^{\circ}\text{C}$ และจุดตัดแกน y ซึ่งเป็นความดันก๊าซที่ 0°C (P_0) ซึ่งคำนวณได้จากสมการ

$P_0 = P_1 - \text{Slope}(t_1)$ ซึ่งได้ค่า $P_0 = 101.5 \text{ kPa}$ และหลังจากนั้นมาคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การ

ขยายตัวของก๊าซ (γ) จากสมการ $\gamma = \frac{\text{Slope}}{P_0}$ ซึ่งได้ค่า $\gamma = 0.00345^{\circ}\text{C}^{-1}$ หลังจากนั้นนำมา

เปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานคือ $0.00366^{\circ}\text{C}^{-1}$ พบว่าการทดลองครั้งนี้มีความคลาดเคลื่อนร้อยละ 5.74

ตัวอย่าง การสรุปผลการทดลอง

1. ความดันและปริมาตรก๊าซเป็นสัดส่วนโดยตรงกับอุณหภูมิซึ่งเป็นไปตามกฎของชาร์และ
เกย์ลูสแซก
2. สัมประสิทธิ์การขยายตัวของก๊าซโดยใช้กระบวนการความดันคงที่มีค่าเท่ากับ $0.00359\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$
คิดเป็นความคลาดเคลื่อนร้อยละ 1.91
3. สัมประสิทธิ์การขยายตัวของก๊าซโดยใช้กระบวนการปริมาตรคงที่มีค่าเท่ากับ $0.00345\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$
คิดเป็นความคลาดเคลื่อนร้อยละ 5.74

ภาคผนวก ง

คู่มือปฏิบัติการ



คู่มือปฏิบัติการ
วิชาฟิสิกส์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6
เรื่อง การหาค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวของก๊าซ



กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์
โรงเรียนสาธิต “พิบูลบำเพ็ญ” มหาวิทยาลัยบูรพา
สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา

คำนำ

คู่มือปฏิบัติการ เรื่อง การหาค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวของก๊าซ ใช้สำหรับปฏิบัติการทดลองในวิชาฟิสิกส์ ระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย ในบทเรียนความร้อน เรื่องกฎของชาร์ล ตามหลักสูตรสถานศึกษา โรงเรียนสาธิต “พิบูลบำเพ็ญ” มหาวิทยาลัยบูรพา เพื่อให้ช่วยต่อการใช้งาน ผู้จัดทำจึงได้เรียบเรียงคู่มือชุดนี้ขึ้น ซึ่งประกอบไปด้วย ใบความรู้ และใบงานการทดลอง และคำถามท้ายการทดลอง สำหรับนักเรียนไปใช้เป็นแนวทางในการทดลองตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้

ผู้จัดทำหวังเป็นอย่างยิ่งว่า คู่มือปฏิบัติการชุดนี้จะเป็นประโยชน์และเป็นสิ่งที่อำนวยความสะดวกต่อนักเรียนที่ต้องการแนวทางในการทดลองเรื่องการหาค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวของก๊าซได้เป็นอย่างดี

อาจารย์ลักษณ์มงคล ณาภรณ์

ผู้จัดทำ

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
ข้อเสนอแนะในการใช้คู่มือปฏิบัติการ	1
1. ใ้ความรู้	2
2. ใ้งานการทดลอง	5
2.1 หลักการและเหตุผล	5
2.2 วัตถุประสงค์	5
2.3 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	5
2.4 ทฤษฎี	6
2.5 อุปกรณ์การทดลอง	10
2.6 วิธีการทดลอง	10
2.7 การบันทึกผลและจัดกระทำข้อมูลจากการทดลอง	15
2.8 คำแนะนำไปสู่การอภิปรายผลการทดลอง	18
2.9 อภิปรายผลการทดลอง	18
2.10 สรุปผลการทดลอง	19

ข้อเสนอแนะในการใช้คู่มือปฏิบัติการ

คู่มือปฏิบัติการประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังต่อไปนี้

1. ใ้บทความรู้
2. ใ้งานการทดลอง

สื่อการจัดการเรียนรู้ประกอบด้วย

1. คู่มือปฏิบัติการ
2. ชุดทดลองเรื่อง การหาค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวของก๊าซ

กระบวนการจัดการเรียนรู้

1. บรรยาย
2. อภิปราย
3. สาธิต
4. ทดลอง

แนวปฏิบัติของนักเรียน

1. นักเรียนต้องมีความสนใจในเนื้อหาที่ครูผู้สอนบรรยาย และสาธิตการใช้ชุดทดลองเป็นอย่างดี
2. นักเรียนต้องปฏิบัติตามระเบียบของห้องปฏิบัติการของโรงเรียนอย่างเคร่งครัด
3. นักเรียนต้องใช้ชุดทดลองอย่างระมัดระวังและคำนึงถึงความปลอดภัยของตนเองอย่างสูงสุด
4. หลังจากทำการทดลองแล้วนักเรียนต้องเขียนรายงานการทดลองส่งครูผู้สอนภายใน 1 สัปดาห์ หลังจากที่ทำทดลอง
5. หากนักเรียนมีข้อสงสัยเกี่ยวกับการทดลอง ให้ถามครูผู้สอนโดยตรง

ใบความรู้

เรื่อง สัมประสิทธิ์การขยายตัวของก๊าซ

(Gases Expansion Coefficient)

เมื่อสสารได้รับความร้อนจะมีการขยายตัว ซึ่งการขยายตัวนั้นจะมีอยู่ 3 รูปแบบขึ้นอยู่กับรูปร่างของสสารคือ การขยายตัวเชิงเส้น การขยายตัวเชิงพื้นที่และการขยายตัวเชิงปริมาตร ก๊าซจะมีการขยายตัวในเชิงปริมาตรเนื่องจากเมื่อได้รับความร้อนจะมีการขยายตัวในทุกทิศทาง

สัมประสิทธิ์การขยายตัวของก๊าซ (Gases Expansion Coefficient)

อาเล็กซองดร์ เซซาร์ ชาร์ล (Jacques Alexander Cesar Charles) เป็นผู้ที่ได้ทำการทดลองวัดการเปลี่ยนแปลงของปริมาตรของก๊าซเมื่อเปลี่ยนอุณหภูมิตั้งแต่ปี พ.ศ.2330 และพบว่าถ้าทำให้ก๊าซร้อนขึ้นที่ความดันคงที่ ก๊าซจะขยายตัวมีปริมาตรเพิ่มขึ้นไปตามเศษส่วนของปริมาตรของก๊าซ

ที่ 0°C เท่า ๆ กันทุกองศาเซลเซียสที่เพิ่มขึ้น และเศษส่วนนั้นมีค่าประมาณ $\frac{1}{273}^{\circ}\text{C}$

ต่อมาในปีพ.ศ.2345 โจเซฟ-หลุยส์ เกย์-ลูสแซก (Joseph-Louis Gay-Lussac) ได้ทดลองตรวจสอบ “กฎของชาร์ล” โดยใช้นิยามของสัมประสิทธิ์การขยายตัวของก๊าซ (Gases Expansion Coefficient ; γ) ที่กล่าวว่า “ปริมาตรก๊าซที่เปลี่ยนแปลงไปจากเดิมต่อหนึ่งหน่วยอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไป” สามารถนำมาเขียนสมการได้เป็น

$$\gamma = \frac{\frac{1}{V_0} \Delta V}{\Delta t}$$

$$\gamma = \frac{\frac{1}{V_0} (V_t - V_0)}{(t - t_0)}$$

เมื่อ t_0 คืออุณหภูมิที่ 0°C เราจะได้

$$\gamma V_0 = V_t - V_0$$

$$V_t = V_0 + V_0 \gamma t \quad (1)$$

$$V_t = V_0 (1 + \gamma t) \quad (2)$$

โดยที่ V_t แทนปริมาตรของก๊าซที่ $t^{\circ}\text{C}$

V_0 แทนปริมาตรของก๊าซที่ 0°C

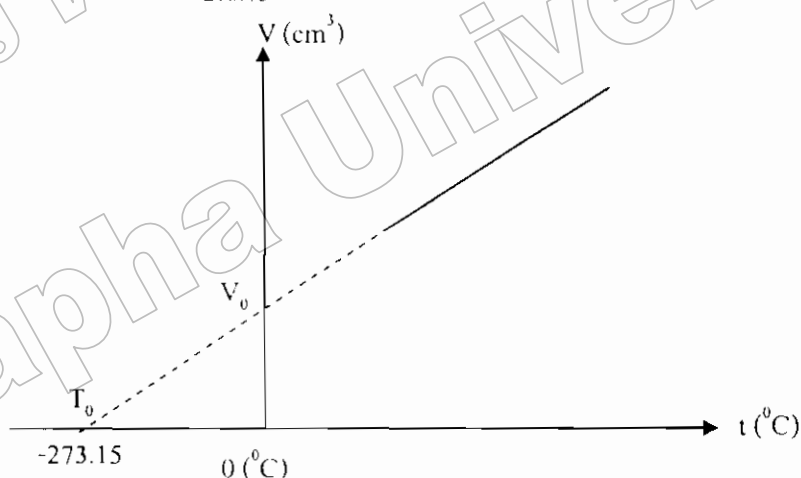
γ แทนสัมประสิทธิ์การขยายตัวของก๊าซ (Gases Expansion Coefficient)

จากสมการที่ (1) จะเห็นได้ว่า ถ้าเขียนกราฟของปริมาตรและอุณหภูมิ จะได้เส้นตรงที่มีความชันเท่ากับ $V_0 \gamma$ ซึ่งจะตัดเส้นแกนปริมาตรที่ V_0 จากค่า V_0 และความชันของเส้นตรงที่วัดได้ คำนวณค่า γ ที่แน่นอนได้เป็น $\frac{1}{273.15} / ^\circ\text{C}$ หรือประมาณ $0.00366 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$

$$\text{ดังนั้น} \quad V_t = V_0 \left(1 + \frac{t}{273.15} \right) \quad (3)$$

ก๊าซปริมาตรน้อยลงเป็นลำดับเมื่ออุณหภูมิต่ำลง เมื่ออุณหภูมิต่ำมาก ๆ ก๊าซกลายเป็นของเหลว ถ้ายังคงเป็นก๊าซอยู่ ปริมาตรของก๊าซจะเป็น 0 ที่อุณหภูมิ -273.15°C

$$\begin{aligned} \text{ตามสมการที่ (2)} \quad V_t &= V_0 (1 + \gamma t) \\ V_{-273.15} &= V_0 \left[1 + \left(\frac{1}{273.15} (-273.15) \right) \right] \\ V_{-273.15} &= V_0 \left(1 - \frac{273.15}{273.15} \right) \\ V_{-273.15} &= V_0 (1 - 1) \\ V_{-273.15} &= 0 \end{aligned}$$



ภาพที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับปริมาตรของก๊าซเมื่อความดันคงที่

อุณหภูมิ -273.15°C หรือ 0 K เรียกว่า **ศูนย์สัมบูรณ์** เป็นอุณหภูมิต่ำสุดที่มีอยู่ได้ อุณหภูมิต่ำกว่านี้ไม่มีอีกแล้ว มิฉะนั้นปริมาตรของก๊าซจะมีค่าเป็นลบ เส้นประในกราฟข้างต้น เป็นเส้นที่ขีดลากต่อจากแนวโน้มของกราฟ เพราะก๊าซทุกชนิดเป็นของเหลวไปหมดก่อนถึง 0 K นักเคมีและนักฟิสิกส์ยังไม่สามารถทำอุณหภูมิต่ำสุดคือ 0 K ได้ แต่ก็พยายามให้เข้าใกล้ไปได้มาก คือสามารถทำให้ต่ำถึง 0.0015 K

$$T(\text{K}) = 273.15 + t(^{\circ}\text{C}) \quad (4)$$

ถ้าวัดปริมาตรและอุณหภูมิของแก๊สที่สถานะสองสถานะ คือ ปริมาตร V_1 ที่อุณหภูมิ $t_1^{\circ}\text{C}$ กับปริมาตร V_2 ที่อุณหภูมิ $t_2^{\circ}\text{C}$

ใช้สมการที่ (5) $V_1 = V_0(1 + \gamma t_1)$

จะได้ $V_1 = V_0 \left(1 + \frac{t_1}{273.15}\right)$

$$V_1 = \frac{V_0}{273.15} (273.15 + t_1) \quad (5)$$

และ $V_2 = V_0 \left(1 + \frac{t_2}{273.15}\right)$

$$V_2 = \frac{V_0}{273.15} (273.15 + t_2) \quad (6)$$

นำ (5) จะได้ว่า $\frac{V_1}{V_2} = \frac{273.15 + t_1}{273.15 + t_2}$

หรือ $\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2} \quad (7)$

ดังนั้น $\frac{V}{T}$ จะมีค่าคงที่ (ความดันและจำนวนโมลคงที่)

กฎของชาร์ลและเกย์-ลุสแซก หรือกฎของชาร์ล จึงกล่าวได้อีกอย่างหนึ่งว่า “เมื่อความดันคงที่ ปริมาตรของแก๊สที่มีมวลคงที่จำนวนหนึ่งเปลี่ยนไปเป็นปฏิภาคโดยตรงกับอุณหภูมิสัมบูรณ์”

ใบงานการทดลอง

เรื่อง การหาค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวของก๊าซ

ชุดทดลองนี้เป็นการทดลองหาสัมประสิทธิ์การขยายตัวของก๊าซโดยแบ่งออกเป็น 2 ตอน ดังนี้

ตอนที่ 1 การทดลองหาสัมประสิทธิ์การขยายตัวของก๊าซโดยใช้กระบวนการ
ความดันคงที่

ตอนที่ 2 การทดลองหาสัมประสิทธิ์การขยายตัวของก๊าซโดยใช้กระบวนการ
ปริมาตรคงที่

หลักการและเหตุผล

สัมประสิทธิ์การขยายตัวของก๊าซเป็นค่าคงที่ที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของปริมาตรของ
ก๊าซเมื่อเปลี่ยนอุณหภูมิ ซึ่งจะเป็นรากฐานสำคัญในการนำไปสู่การหาค่าอุณหภูมิศูนย์สัมบูรณ์
การทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวของก๊าซใช้ในการตรวจสอบทฤษฎี โดยใช้หลักการ
พื้นฐานตามกฎของชาร์ลและเกย์-ลูสแซก ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญที่ผู้เรียนจะต้องเรียนรู้และตอบข้อสงสัย
ของตัวเอง

การทดลองเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวของก๊าซ สามารถทำได้สองวิธีคือ การ
ทดลองหาสัมประสิทธิ์การขยายตัวของก๊าซโดยใช้กระบวนการความดันคงที่และการทดลองหา
สัมประสิทธิ์การขยายตัวของก๊าซโดยใช้กระบวนการปริมาตรคงที่

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรของก๊าซและอุณหภูมิ
2. เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความดันของก๊าซและอุณหภูมิ
3. เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวของก๊าซ

ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรของก๊าซและอุณหภูมิได้
2. สามารถอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างความดันของก๊าซและอุณหภูมิได้
3. สามารถหาและเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวของก๊าซกับค่ามาตรฐานได้

ทฤษฎี

การหาค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวของก๊าซโดยใช้กระบวนการความดันคงที่

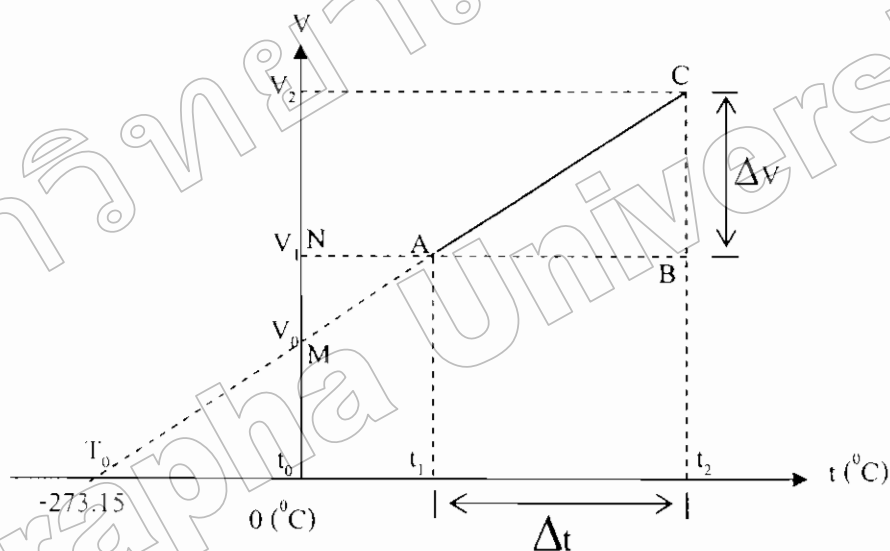
(Isobaric Process)

การหาค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อนเชิงปริมาตร โดยใช้กระบวนการความดันคงที่ที่สามารถหาค่าได้โดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรก๊าซอุดมคติกับอุณหภูมิ: $V = f(t^0)$ โดย ความดันคงที่ สำหรับกระบวนการความดันคงที่สามารถแสดงได้ด้วยสมการ

$$V_1 = V_0(1 + \gamma t)$$

$$\text{หรือ} \quad V_1 = V_0 + V_0 \gamma t \quad (1)$$

โดยที่ V_0 คือปริมาตรของก๊าซที่ 0 องศาเซลเซียส ความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงนี้ แสดงไว้ใน รูปที่ 1



ภาพที่ 1 กราฟของกระบวนการความดันคงที่

เส้นตรงตัดผ่านแกนนอน ที่อุณหภูมิศูนย์องศาสัมบูรณ์ T_0 และตัดแกนตั้งที่ปริมาตรก๊าซที่ 0 องศาเซลเซียส V_0 เพื่อที่จะหาค่า V_0 จึงจำเป็นที่จะต้องหาค่าปริมาตร V_1, V_2 และอุณหภูมิ t_1, t_2 จากกราฟที่ได้จากการทดลองในขณะที่ความดันคงที่

รูปที่ 1 แสดงให้เห็นว่าสามเหลี่ยม MNA และ ABC เป็นสามเหลี่ยมคล้าย

เพราะฉะนั้น

$$\frac{CB}{MN} = \frac{BA}{AN}$$

เราจะได้

$$\frac{V_2 - V_1}{V_1 - V_0} = \frac{t_2 - t_1}{t_1 - 0}$$

$$\begin{aligned}
 V_2 t_1 - V_1 t_1 &= (t_2 - t_1)(V_1 - V_0) \\
 V_1 - V_0 &= \frac{V_2 t_1 - V_1 t_1}{t_2 - t_1} \\
 V_0 &= V_1 - \left(\frac{V_2 t_1 - V_1 t_1}{t_2 - t_1} \right) \\
 V_0 &= V_1 - \left[\frac{(V_2 - V_1)t_1}{t_2 - t_1} \right] \quad (2)
 \end{aligned}$$

นิยามความแตกต่างระหว่างปริมาตรเริ่มต้นและปริมาตรสุดท้ายในช่วงกราฟที่พิจารณาเป็น ΔV

โดยที่ $\Delta V = V_2 - V_1$ (3)

และนิยามความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิเริ่มต้นและอุณหภูมิสุดท้ายในช่วงกราฟที่พิจารณาเป็น

Δt โดยที่ $\Delta t = t_2 - t_1$ (4)

นำสมการที่ (3) และ (4) แทนค่าลงในสมการที่ (2) จะได้ว่า

$$V_0 = V_1 - \left(\frac{t_1 \Delta V}{\Delta t} \right)$$

และกำหนดความชันของกราฟที่ได้จากการทดลอง

$$\text{Slope} = \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

ดังนั้นสำหรับค่า V_0 จะได้ว่า

$$V_0 = V_1 - \text{Slope}(t_1) \quad (5)$$

เพื่อหาค่า V_0 จะต้องหาค่า t_1, t_2, V_1, V_2 จากกราฟที่ได้จากการทดลองแล้วนำมาหา

ค่าความชันของกราฟเพื่อที่จะนำค่าความชันของกราฟที่ได้มาหาค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวของก๊าซ

และจากสมการที่ (1) $V_1 = V_0 + V_0 \gamma t$

จะได้ค่าความชันของกราฟ $\text{Slope} = V_0 \gamma$

ซึ่งจะสามารถหาค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวของก๊าซ γ ได้จากสมการ

$$\gamma = \frac{\text{Slope}}{V_0} \quad (6)$$

การหาค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อนเชิงปริมาตรโดยใช้

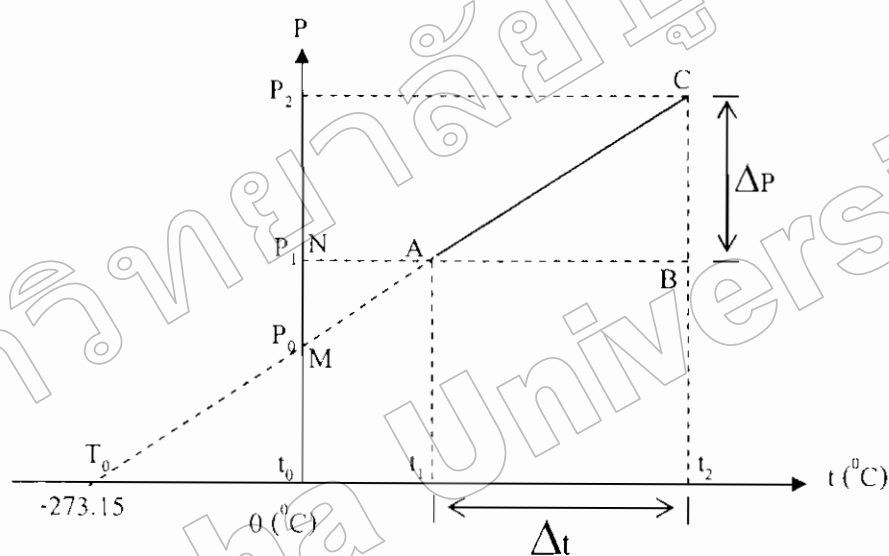
กระบวนการปริมาตรคงที่(Isochoric Process)

การหาค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อนเชิงปริมาตร โดยใช้กระบวนการปริมาตรคงที่ที่สามารถหาค่าได้โดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่างความดันของก๊าซอุดมคติกับอุณหภูมิ ; $P = f(t^0)$ โดยปริมาตรคงที่ สำหรับกระบวนการปริมาตรคงที่ที่สามารถแสดงได้ด้วยสมการ

$$P_1 = P_0(1 + \gamma t)$$

$$\text{หรือ} \quad P_1 = P_0 + P_0 \gamma t \quad (7)$$

โดยที่ P_0 คือ ความดันของก๊าซที่ 0 องศาเซลเซียส ความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงนี้แสดงไว้ใน รูปที่ 2



ภาพที่ 2 กราฟของกระบวนการปริมาตรคงที่

เส้นตรงตัดผ่านแกนนอน ที่อุณหภูมิศูนย์องศาสัมบูรณ์ T_0 และตัดแกนตั้งที่ความดันก๊าซที่ 0 องศาเซลเซียส P_0 เพื่อที่จะหาค่า P_0 จึงจำเป็นที่จะต้องหาค่าความดัน P_1, P_2 และอุณหภูมิ t_1, t_2 จากกราฟที่ได้จากการทดลองในขณะที่ปริมาตรคงที่

รูปที่ 2 แสดงให้เห็นว่าสามเหลี่ยม MNA และ ABC เป็นสามเหลี่ยมคล้าย

เพราะฉะนั้น

$$\frac{CB}{MN} = \frac{BA}{AN}$$

เราจะได้

$$\frac{P_2 - P_1}{P_1 - P_0} = \frac{t_2 - t_1}{t_1 - 0}$$

$$P_2 t_1 - P_1 t_1 = (t_2 - t_1)(P_1 - P_0)$$

$$\begin{aligned}
 P_1 - P_0 &= \frac{P_2 t_1 - P_1 t_1}{t_2 - t_1} \\
 P_0 &= P_1 - \left(\frac{P_2 t_1 - P_1 t_1}{t_2 - t_1} \right) \\
 P_0 &= P_1 - \left[\frac{(P_2 - P_1) t_1}{t_2 - t_1} \right] \quad (8)
 \end{aligned}$$

นิยามความแตกต่างระหว่างความดันเริ่มต้นและความดันสุดท้ายในช่วงกราฟที่พิจารณาเป็น ΔP โดยที่

$$\Delta P = P_2 - P_1 \quad (9)$$

และนิยามความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิเริ่มต้นและอุณหภูมิสุดท้ายในช่วงกราฟที่พิจารณาเป็น

$$\Delta t \quad \text{ตามสมการที่ (4)} \quad \Delta t = t_2 - t_1$$

นำสมการที่ (4) และ (9) แทนค่าลงในสมการที่ (8) จะได้ว่า

$$P_0 = P_1 - \left(\frac{t_1 \Delta P}{\Delta t} \right)$$

และกำหนดความชันของกราฟที่ได้จากการทดลอง

$$\text{Slope} = \frac{\Delta P}{\Delta t}$$

$$\text{ดังนั้นสำหรับค่า } P_0 \text{ จะได้ว่า } P_0 = P_1 - \text{Slope}(t_1) \quad (10)$$

เพื่อหาค่า P_0 จะต้องหาค่า t_1, t_2, P_1, P_2 จากกราฟที่ได้จากการทดลองแล้วนำมาหาค่าความชันของกราฟเพื่อที่จะนำค่าความชันของกราฟที่ได้มาหาค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวของ

$$\text{ก๊าซและจากสมการที่ (7)} \quad P_t = P_0 + P_0 \gamma t$$

$$\text{จะได้ค่าความชันของกราฟ} \quad \text{Slope} = P_0 \gamma$$

ซึ่งจะสามารถหาค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวของก๊าซ γ ได้จากสมการ

$$\gamma = \frac{\text{Slope}}{P_0} \quad (11)$$

อุปกรณ์การทดลอง

1. ภาชนะโลหะที่ปิดสนิท
2. เครื่องวัดความดันของก๊าซแบบดิจิทัล (Digital Pressure Gauge) โดยมีวาล์ว 2 ตัว
3. บีกเกอร์ขนาด 2000 mL
4. เทอร์มอมิเตอร์
5. ขวดรูปชมพู่ขนาด 250 mL พร้อมจุกยางและก๊อกล
6. กระบอกตวงขนาด 300 mL
7. เตาความร้อน (hot plate)
8. สายยางขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 เซนติเมตร
9. น้ำ
10. น้ำแข็งก้อนเล็ก

วิธีการทดลอง

ตอนที่ 1 การหาค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวของก๊าซโดยใช้กระบวนการความดันคงที่

1. เติมน้ำ 1000 mL ลงในบีกเกอร์ขนาด 2000 mL พร้อมกับนำไปต้มบนเตาความร้อนจนเดือด
2. ปิดจุกยางของขวดรูปชมพู่แล้วเปิดก๊อกลที่จุกยางเพื่อรักษาความดันในหลอดแก้วให้อยู่ที่ความดันบรรยากาศพร้อมกับจุ่มลงไปในบีกเกอร์ซึ่งมีน้ำกำลังเดือด ทิ้งไว้ 2 นาที (ดูภาพที่ 3)



ภาพที่ 3 ขวดรูปชมพู่ ที่รักษาความดันในหลอดแก้วให้อยู่ที่ความดันบรรยากาศ
อยู่ในภาชนะที่มีน้ำกำลังเดือด

3. อากาศในขวดรูปชมพู่จะมีอุณหภูมิถึงอุณหภูมิของน้ำที่กำลังเดือด จะทำให้ความดันเพิ่มขึ้นและดันอากาศออกมาจากขวดรูปชมพู่ จนกระทั่งความดันภายในขวดรูปชมพู่เท่ากับความดันบรรยากาศ

4. ปิดก๊อก โดยกำหนดปริมาตรของอากาศในขวดรูปชมพู่เป็น V_2 ซึ่งเท่ากับ ปริมาตรของขวดรูปชมพู่และและอุณหภูมิของน้ำกำลังเดือดด้วย t_2 ซึ่งวัดค่าได้จากเทอร์โมมิเตอร์

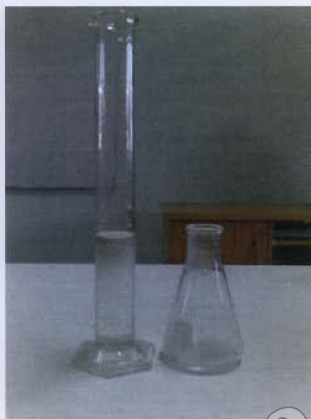
5. วางขวดรูปชมพู่โดยให้ก๊อกอยู่ด้านล่าง ในบีกเกอร์ที่ใส่น้ำซึ่งมีก้อนน้ำแข็งอยู่ด้วย เพื่อลดอุณหภูมิของอากาศในระบบ ทิ้งไว้ 2 นาที จนกระทั่งเกิดสมดุลความร้อน (อุณหภูมิคงที่)

6. เปิดก๊อกในน้ำ เป็นเวลา 2 นาที จนกระทั่งอากาศในขวดรูปชมพู่เย็นลงถึง อุณหภูมิของน้ำ t_1 ในระหว่างขั้นตอนนี้ความดันของอากาศในขวดรูปชมพู่ลดลงและน้ำบางส่วน ไหลเข้ามาในขวดแก้วรูปชมพู่ กระบวนการดำเนินต่อเนื่องจนกระทั่ง ความดันอากาศในขวดรูปชมพู่เท่ากับความดันบรรยากาศ ปริมาตรของอากาศลดลงถึง V_1 แล้วปิดก๊อกและวัดค่า t_1 (ดูภาพที่ 4)



ภาพที่ 4 ขวดรูปชมพู่บรรจุอากาศวางอยู่ในน้ำที่ถูกทำให้เย็น

7. นำขวดรูปชมพู่ออกจากน้ำ เอาจุกยางออกจากปากขวดและเทน้ำที่อยู่ในขวด รูปชมพู่ลงในกระบอกตวงวัดปริมาตร (ดูภาพที่ 5) เพื่อหาความแตกต่างของปริมาตร (ΔV)



ภาพที่ 5 การวัดความแตกต่างของปริมาตร

8. วัดปริมาตรเริ่มต้น V_2 ของขวดรูปชมพู่ โดยการเติมน้ำลงในขวดรูปชมพู่จนเต็ม แล้ววัดปริมาตรของน้ำด้วยกระบอกตวงวัดปริมาตร จะได้ปริมาตรเริ่มต้นของอากาศ V_2
9. คำนวณหาค่า V_1 จากสมการที่ (3) $\Delta V = V_2 - V_1$ หรือ $V_1 = V_2 - \Delta V$
10. ทดลองซ้ำจากข้อที่ 1 ถึงข้อที่ 9 อีก 4 ครั้ง โดยควบคุม V_2 และ t_2 ให้คงที่ และใช้อุณหภูมิ t_1 ที่สูงขึ้นจากเดิม แล้ววัดค่า V_1 จากการทดลอง จะทำให้ได้ค่าของ V_1 และ t_1 อีก 4 ค่า
11. นำค่าที่ได้จากการทดลองของ V_1, V_2, t_1 และ t_2 ทั้งหมดมาวาดลงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรและอุณหภูมิ โดยให้แกนตั้งเป็นปริมาตรและแกนนอนเป็นอุณหภูมิ แล้วทำการเปลี่ยนกราฟให้เป็นกราฟเส้นตรง (หรืออาจวาดกราฟในโปรแกรม Microsoft Excel)
12. เลือกจุดที่พิจารณาบนกราฟที่ได้จากการทดลองสองจุดแล้วคำนวณหาความชันของกราฟ (หรืออาจใช้ความชันของกราฟจากสมการที่ได้จากกราฟในโปรแกรม Microsoft Excel ตามรูปของสมการเชิงเส้น $y = mx + C$)
13. นำความชันของกราฟที่ได้จากข้อที่ 12 และค่า V_1 (จากกราฟที่ได้) มาคำนวณหา V_0 ซึ่งเป็นจุดตัดแกน y ตามสมการที่ (5) (หรืออาจใช้ค่า C ซึ่งเป็นจุดตัดแกน y ของกราฟจากสมการที่ได้จากกราฟในโปรแกรม Microsoft Excel เป็นค่า V_0)
14. นำค่า V_0 ที่ได้จากข้อ 13 และความชันของกราฟมาคำนวณหาความสัมพันธ์การขยายตัวของก๊าซ ตามสมการที่ (6)
15. นำค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวของก๊าซ γ ที่ได้จากการทดลองมาเปรียบเทียบกับทฤษฎีแล้วคำนวณหาร้อยละความคลาดเคลื่อนจากการทดลอง

ตอนที่ 2 การหาค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวของก๊าซโดยใช้กระบวนการปริมาตรคงที่

1. เติมน้ำลงในปิกเกอร์ขนาด 2000 mL พร้อมเติมน้ำแข็งลงในปิกเกอร์
2. ใส่ภาชนะโลหะที่ปิดสนิทและต่อระบบกับ Pressure Gauge ลงไปในภาชนะที่บรรจุน้ำ โดยเปิดวาล์วของ Pressure Gauge เพื่อให้ระบบถูกต่อกับบรรยากาศ ทิ้งไว้ 2 นาที จนอุณหภูมิของอากาศในระบบเท่ากับอุณหภูมิของน้ำ (ดูภาพที่ 6)
3. ปิดวาล์วของ Pressure Gauge จะทำให้ระบบถูกแยกจากบรรยากาศ ซึ่งวิธีนี้จะทำให้ปริมาตรของอากาศในขวดโหลมีค่าคงที่ โดยมีอุณหภูมิเริ่มต้นที่ t_1 ที่ความดันบรรยากาศ P_1
4. บันทึกความดัน P_1 และอุณหภูมิ t_1



ภาพที่ 6 การติดตั้งการทดลองโดยใช้กระบวนการปริมาตรคงที่ ซึ่งใช้ภาชนะโลหะที่ปิดสนิทจุ่มลงในภาชนะที่มีน้ำผสมน้ำแข็ง

5. นำภาชนะโลหะที่ปิดสนิทไปวางอยู่ในภาชนะบรรจุน้ำกำลังเดือดที่วางอยู่บนเตาความร้อน ทิ้งไว้ 2 นาที (ดูภาพที่ 7)



ภาพที่ 7 น้ำในภาชนะถูกต้มให้เดือดโดยใช้เตาความร้อน
ให้ความร้อนกับอากาศที่มีอยู่ในภาชนะโลหะ

6. หลังจากอากาศในภาชนะโลหะได้เพิ่มขึ้นจนถึงอุณหภูมิของน้ำที่เดือด (อุณหภูมิ สมดุล) และความดันมีค่าคงที่ อ่านค่าความดันของอากาศภายในขวดปากกว้างจาก Pressure Gauge แล้วบันทึกความดัน P_2 และอุณหภูมิ t_2

7. ทดลองซ้ำจากข้อที่ 1 ถึงข้อที่ 6 อีก 4 ครั้ง โดยใช้ช่วงอุณหภูมิที่ต่างกัน แล้ว บันทึกค่าความดันจาก Pressure Gauge ที่อุณหภูมิต่างๆ จะทำให้ได้ค่าของ P_2 และ t_2 อีก 4 ค่า

8. นำค่าที่ได้จากการทดลองของ P_1, P_2, t_1 และ t_2 มาวาดกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ความดันและอุณหภูมิ โดยให้แกนตั้งเป็นความดันและแกนนอนเป็นอุณหภูมิ แล้วทำการเกลี่ย กราฟให้เป็นกราฟเส้นตรง (หรืออาจวาดกราฟในโปรแกรม Microsoft Excel)

9. เลือกจุดที่พิจารณาบนกราฟที่ได้จากการทดลองสองจุดแล้วคำนวณหาความชัน ของกราฟ (หรืออาจใช้ความชันของกราฟจากสมการที่ได้จากกราฟในโปรแกรม Microsoft Excel ตามรูปของสมการเชิงเส้น $y = mx + C$)

10. นำความชันของกราฟที่ได้จากข้อที่ 9 และค่า P_1 (จากกราฟที่ได้) มาคำนวณหา ค่า P_0 ซึ่งเป็นจุดตัดแกน y ตามสมการที่ (10) (หรืออาจใช้ค่า C ซึ่งเป็นจุดตัดแกน y ของกราฟจาก สมการที่ได้จากกราฟในโปรแกรม Microsoft Excel เป็นค่า P_0)

11. นำค่า P_0 ที่ได้จากการข้อ 10 และความชันของกราฟมาคำนวณหาความสัมพันธ์ การขยายตัวของก๊าซเชิงความดัน γ_p ตามสมการที่ (11)

13. นำค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวของก๊าซมาเปรียบเทียบกับทฤษฎีแล้วคำนวณหา ร้อยละความคลาดเคลื่อนจากการทดลอง

การบันทึกผลการทดลองและการจัดกระทำข้อมูลจากการทดลอง

ตอนที่ 1 การหาค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวของก๊าซโดยใช้กระบวนการความดันคงที่

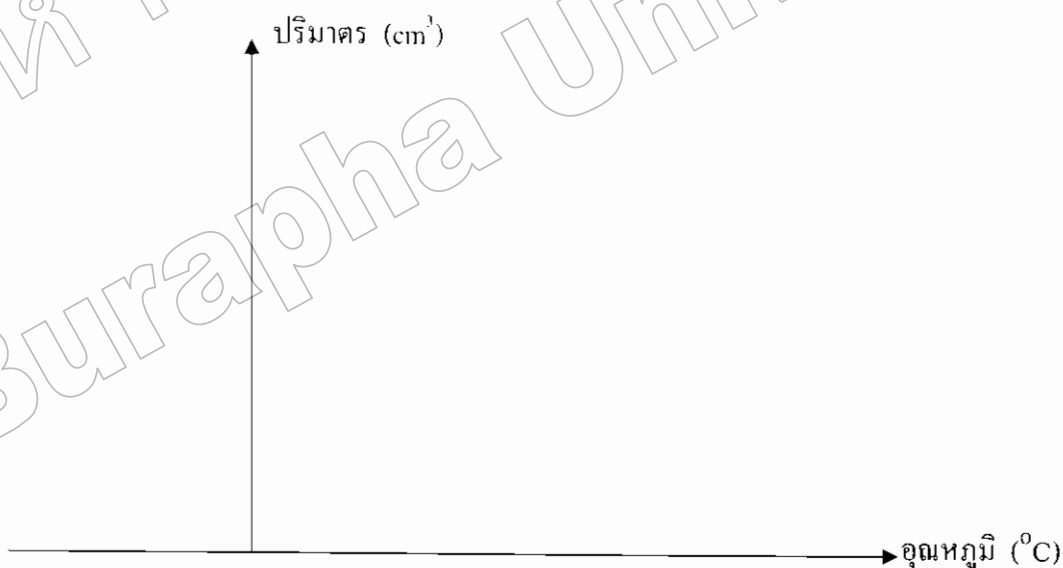
ตารางบันทึกผลการทดลอง

อุณหภูมิของน้ำเดือด $t_2 = \dots$ $^{\circ}\text{C}$

ปริมาตรของขวดรูปชมพู่ $V_2 = \dots$ cm^3

ครั้งที่	ΔV (cm^3)	V_1 ($V_2 - \Delta V$) (cm^3)	t_1 ($^{\circ}\text{C}$)
1			
2			
3			
4			
5			

กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรของก๊าซและอุณหภูมิจากตารางบันทึกผลการทดลอง



เลือกจุดบนกราฟเพื่อนำมาพิจารณา 2 จุด แล้วคำนวณค่าความชันดังต่อไปนี้

$$V_1 = \dots \text{cm}^3 \quad V_2 = \dots \text{cm}^3 \quad \Delta V = V_2 - V_1 = \dots \text{cm}^3$$

$$t_1 = \dots ^{\circ}\text{C} \quad t_2 = \dots ^{\circ}\text{C} \quad \Delta t = t_2 - t_1 = \dots ^{\circ}\text{C}$$

$$\text{Slope} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \text{_____} \text{ cm}^3/^{\circ}\text{C}$$

นำความชันของกราฟที่ได้มาคำนวณหา V_0 ดังนี้

$$V_0 = V_1 - \text{Slope}(t_1) = \text{_____} \text{ cm}^3$$

นำค่า V_0 มาคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวของก๊าซ γ ดังนี้

$$\gamma = \frac{\text{Slope}}{V_0} = \text{_____} ^{\circ}\text{C}^{-1}$$

คำนวณหาร้อยละความคลาดเคลื่อน (% error) จากการทดลอง

$$\text{ร้อยละความคลาดเคลื่อน} = \frac{|\text{ค่าที่ได้จากการทดลอง} - \text{ค่ามาตรฐาน}|}{\text{ค่ามาตรฐาน}} \times 100$$

การทดลองครั้งนี้มีความคลาดเคลื่อน ร้อยละ _____

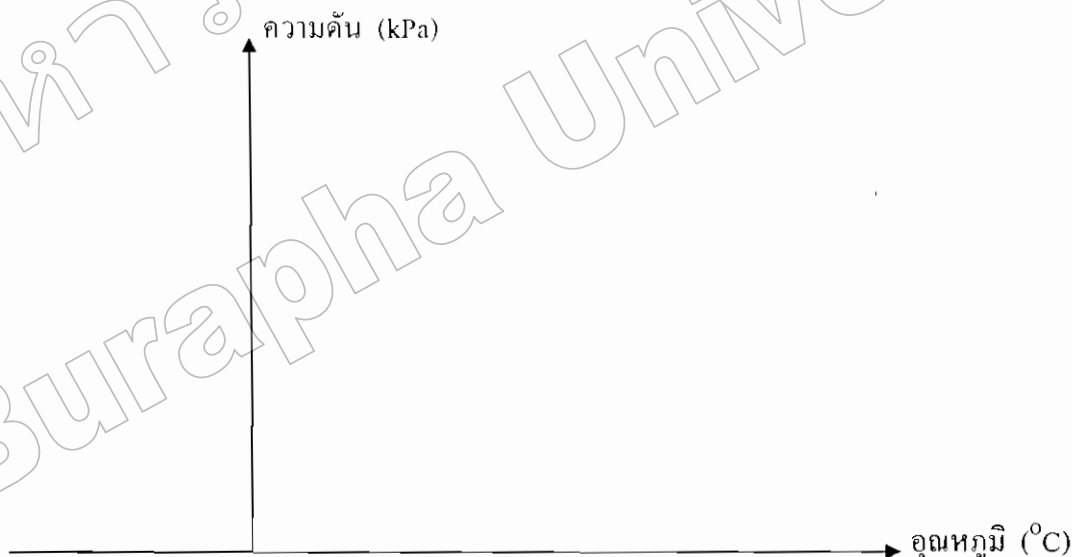
ตอนที่ 2 การหาค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวของก๊าซโดยใช้กระบวนการปริมาตรคงที่

ตารางบันทึกผลการทดลอง

อุณหภูมิเริ่มต้นของน้ำ $t_1 = \text{---}^{\circ}\text{C}$
 ความดันเริ่มต้น $P_1 = 101.3 \text{ kPa (1 atm)}$

ครั้งที่	P_2 kPa	t_2 ($^{\circ}\text{C}$)
1		
2		
3		
4		
5		

กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความดันของก๊าซและอุณหภูมิจากตารางบันทึกผลการทดลอง



เลือกจุดบนกราฟเพื่อนำมาพิจารณา 2 จุด แล้วคำนวณค่าความชันดังต่อไปนี้

$$P_1 = \text{---} \text{ kPa} \quad P_2 = \text{---} \text{ kPa} \quad \Delta P = P_2 - P_1 = \text{---} \text{ kPa}$$

$$t_1 = \text{---}^{\circ}\text{C} \quad t_2 = \text{---}^{\circ}\text{C} \quad \Delta t = t_2 - t_1 = \text{---}^{\circ}\text{C}$$

$$\text{Slope} = \frac{\Delta P}{\Delta t} = \text{---} \text{ kPa}/^{\circ}\text{C}$$

นำความชันของกราฟที่ได้มาคำนวณหา P_0 ดังนี้

$$P_0 = P_1 - \text{Slope}(t_1) = \text{---} \text{---} \text{ kPa}$$

นำค่า P_0 มาคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวของก๊าซ γ ดังนี้

$$\gamma = \frac{\text{Slope}}{P_0} = \text{---} \text{---} ^\circ\text{C}^{-1}$$

คำนวณหาร้อยละความคลาดเคลื่อน (% error) จากการทดลอง

$$\text{ร้อยละความคลาดเคลื่อน} = \frac{|\text{ค่าที่ได้จากการทดลอง} - \text{ค่ามาตรฐาน}|}{\text{ค่ามาตรฐาน}} \times 100$$

การทดลองครั้งนี้มีความคลาดเคลื่อน ร้อยละ ---

คำถามนำไปสู่การอภิปรายผลการทดลอง

1. จากการทดลองความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรของก๊าซกับอุณหภูมิเป็นอย่างไร
2. จากการทดลองความสัมพันธ์ระหว่างความดันของก๊าซกับอุณหภูมิเป็นอย่างไร
3. ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวของก๊าซที่ได้จากการทดลองกับค่ามาตรฐานมีความคลาดเคลื่อนอย่างไรและถือว่าเป็นผลการทดลองที่ใช้ได้หรือไม่
4. ข้อมูลและผลที่ได้จากการทดลองมีความสัมพันธ์ตามกฎของชาร์ลและเกย์-ลุสแซกหรือไม่ อย่างไร

การอภิปรายผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....