



MathStandard

เอกสารประกอบการเรียน

เทคโนโลยีและวิทยาการคำนวณ

เรื่อง ความร้อนและการประยุกต์

เตรียมสอบเข้า ม.4

โครงการห้องเรียนวิทยาศาสตร์ วมว. รอบ 2

www.mathstandard.com

คำชี้แจง

ความร้อนและการประยุกต์

จัดทำโดย MathStandard

ฉบับ 2.0

อุณหภูมิแสดงสถานะทางความร้อนของระบบ ส่วนความร้อนเป็นพลังงานที่ถ่ายเทเนื่องจากความแตกต่างของอุณหภูมิ การวิเคราะห์จึงต้องพิจารณาทั้งสถานะเริ่มต้น สถานะสุดท้าย ขอบเขตระบบ และเส้นทางการถ่ายเทพลังงาน ความสัมพันธ์เหล่านี้ใช้ประกอบการอธิบายการเปลี่ยนสถานะ การเปลี่ยนขนาดของวัสดุ และความขึ้นในภาชนะ

เนื้อหาครอบคลุมการวัดและการสอบเทียบอุณหภูมิ กลไกการถ่ายเท ความร้อนจำเพาะและความร้อนแฝง สมดุลพลังงาน การขยายตัวและช่องว่างระหว่างชิ้นส่วน ความขึ้นสัมพัทธ์ การควบแน่น และการเลือกแบบภายใต้ข้อจำกัด เริ่มจากหลักการพื้นฐานแล้วเพิ่มการวิเคราะห์หลายช่วง หลายชิ้นส่วน และค่าคลาดเคลื่อนพื้นฐานที่ใช้ประกอบด้วยอัตราส่วน ร้อยละ สมการและอสมการเชิงเส้น กราฟ และการแปลงหน่วย การคำนวณต้องแยกอุณหภูมิกออกจากผลต่างอุณหภูมิ แยกปริมาณพลังงานออกจากกำลัง และระบุความหมายของปริมาณที่ใช้ในแต่ละระบบ

ค่าความร้อนจำเพาะ สัมประสิทธิ์การขยายตัว และ ค่าความหนาแน่นไอน้ำอิ่มตัวให้ ใช้ ตาม โจทย์แบบจำลองบางกรณีกำหนดให้ค่าคงที่ในช่วงที่พิจารณา การถ่ายเทในภาวะคงตัวไม่ใช่การสะสมพลังงาน และมวลน้ำที่ควบแน่นยังอยู่ในระบบ จนกว่าจะนำออก การเลือกค่ากรณีเสียเปรียบต้องสอดคล้องกับความสัมพันธ์และขอบเขตที่กำหนด

แบบฝึกหัดแต่ละข้อมีคะแนนเต็ม 4 คะแนน ให้แสดงผล การคำนวณ หรือการเปรียบเทียบตามคำถาม วิธีอื่นที่รักษาเงื่อนไขและให้เหตุผลถูกต้องได้รับคะแนนตามองค์ประกอบเดียวกัน องค์ประกอบที่มีหลายขั้นให้คะแนนบางส่วนตามความถูกต้อง โดยคะแนนรวมไม่เกินที่กำหนด

ข้อมูลในสถานการณ์ใช้สำหรับการวิเคราะห์ภายใต้สมมติฐานที่ระบุ การเลือกวัสดุหรืออุปกรณ์ใช้งานจริงยังต้องพิจารณาข้อมูลสมบัติ พิกัด และสภาพใช้งานที่เกี่ยวข้อง

สารบัญ

เนื้อหาและแบบฝึกหัด

ตอนที่ 1 อุณหภูมิและการวัด	4
แบบฝึกหัดตอนที่ 1	9
ตอนที่ 2 การถ่ายเทและปริมาณความร้อน	11
แบบฝึกหัดตอนที่ 2	17
ตอนที่ 3 การขยายตัวและระยะเฟส	19
แบบฝึกหัดตอนที่ 3	25
ตอนที่ 4 ความชื้นและสภาวะแวดล้อม	27
แบบฝึกหัดตอนที่ 4	33
ตอนที่ 5 การออกแบบระบบที่เกี่ยวข้องกับความร้อน	35
แบบฝึกหัดตอนที่ 5	42
สรุปสาระสำคัญ	44
แบบฝึกหัดบูรณาการ	45
เฉลยเฉพาะคำตอบ	48
เฉลยวิธีคิดและเกณฑ์ตรวจ	51
เอกสารอ้างอิง	61

ตอนที่ 1

อุณหภูมิและการวัด

การวิเคราะห์ระบบที่เกี่ยวข้องกับความร้อนเริ่มจากการระบุว่าวัตถุสิ่งใด ที่ตำแหน่งใด และเมื่อใด อุณหภูมิที่ผิว ภายในวัสดุ และอากาศโดยรอบอาจไม่เท่ากัน แม้อยู่ในอุปกรณ์เดียวกัน การอ่านค่าเพียงจุดเดียวจึงให้ข้อมูลเฉพาะจุดนั้น การใช้ผลวัดแทนส่วนอื่นต้องมีเหตุผลรองรับ เช่น รอให้เกิดสมดุลหรือมีข้อมูลยืนยันว่าความต่างภายในเล็กน้อย

1.1 อุณหภูมิ ความร้อน และการเปลี่ยนแปลง

อุณหภูมิเป็น ปริมาณ ที่ ใช้ บอกสภาวะทางความร้อนและ พิจารณา ทิศการถ่ายเทพลังงานสุทธิ วัตถุ ที่มีอุณหภูมิเท่ากันอยู่ในสมดุลทางความร้อนเมื่อสัมผัสกันโดยไม่มีปัจจัยอื่นทำให้เปลี่ยน ส่วนความร้อนเป็นพลังงานที่ถ่ายโอนเนื่องจากอุณหภูมิต่างกัน จึงไม่ใช่ชื่ออีกชื่อหนึ่งของอุณหภูมิ และไม่ใช่พลังงานทั้งหมดที่สะสมในวัตถุ

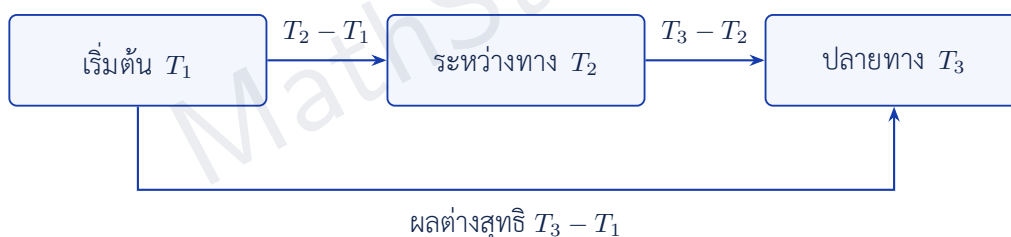
ความรู้สึกจากการสัมผัสขึ้นกับอัตราการถ่ายเทระหว่างผิวกับวัตถุด้วย โลหะกับไม้ในห้องเดียวกันจึงอาจให้ความรู้สึกต่างกันแม้มีอุณหภูมิเท่ากัน ควรใช้เครื่องวัดที่เหมาะสมกับช่วงและตำแหน่งแทนการประมาณด้วยความรู้สึก

ค่าที่ปลายทางและค่าที่เปลี่ยน

$$\Delta T = T_2 - T_1$$

T_1 คืออุณหภูมิเริ่มต้น T_2 คืออุณหภูมิปลายทาง และ ΔT คือการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ โดยใช้สเกลเดียวกัน ผลต่างบวกหมายถึงร้อนขึ้น ผลต่างลบหมายถึงเย็นลง ส่วนขนาดการลดลงรายงานเป็นจำนวนบวก

เมื่อมีหลายช่วง ผลรวมการเปลี่ยนแปลงแต่ละช่วงเท่ากับอุณหภูมิสุดท้ายลบอุณหภูมิเริ่มต้น แต่ผลรวมขนาดการเปลี่ยนแปลงไม่จำเป็นต้องเท่ากับผลต่างสุทธิ การกลับมาที่อุณหภูมิเดิมจึงไม่ได้หมายความว่าไม่มีการรับหรือคายความร้อนระหว่างทาง



ภาพที่ 1 แยกการเปลี่ยนแต่ละช่วงออกจากผลต่างสุทธิระหว่างต้นทางกับปลายทาง

ตัวอย่างที่ 1 อุณหภูมิสามช่วงเวลา

อากาศในกล่องมีอุณหภูมิ $12, 38, 26^{\circ}\text{C}$ ตามลำดับ จงหาการเปลี่ยนแปลงช่วงแรก ช่วงหลัง และผลต่างสุทธิ พร้อมหาอุณหภูมิสุดท้ายในหน่วยเคลวิน กำหนดค่าหน่วย K เท่ากับค่าหน่วย $^{\circ}\text{C}$ บวก 273.15

วิธีคิด ช่วงแรกได้ $38 - 12 = 26$ องศาเซลเซียส ช่วงหลังได้ $26 - 38 = -12$ องศาเซลเซียส จึงลดลง 12 องศาเซลเซียส ผลต่างสุทธิเป็น $26 + (-12) = 14$ องศาเซลเซียส ตรงกับ $26 - 12$ การแปลงสเกล ใช้ค่าปลายทาง $26 + 273.15 = 299.15$ K ไม่ใช่ผลต่างสุทธิแทนค่าปลายทาง

ตอบ +26, -12, +14 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิสุดท้าย 299.15 K

1.2 สเกลอุณหภูมิและหน่วยของผลต่าง

สเกลเซลเซียสกับเคลวินมีขนาดช่วงหนึ่งหน่วยเท่ากัน แต่มีจุดศูนย์ต่างกัน สเกลฟาเรนไฮต์มีทั้งจุดศูนย์และขนาดช่วงต่างจากเซลเซียส จึงต้องแยกสูตรแปลงค่าที่วัดออกจากสูตรแปลงผลต่าง

ความสัมพันธ์ของค่าตัวเลขในแต่ละสเกล

$$T_K = T_C + 273.15, \quad T_F = \frac{9}{5}T_C + 32$$

$$\Delta T_K = \Delta T_C, \quad \Delta T_F = \frac{9}{5}\Delta T_C$$

T_C, T_K, T_F แทนค่าตัวเลขของอุณหภูมิเมื่อรายงานเป็นองศาเซลเซียส เคลวิน และองศาฟาเรนไฮต์ ตามลำดับ ส่วน Δ หน้าสัญลักษณ์หมายถึงผลต่างของค่าที่วัดในสเกลนั้น

ปริมาณ	ตัวอย่างการแปลง	สิ่งที่ต้องแยก
อุณหภูมิหนึ่งค่า	$20^{\circ}\text{C} = 293.15$ K	จุดศูนย์ของสองสเกลต่างกัน
อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น	เพิ่ม 20 องศาเซลเซียส เท่ากับ เพิ่ม 20 K	ไม่บวก 273.15 ให้ผลต่าง
ความร้อนที่ถ่ายโอน	1 kJ = 1000 J	เป็นพลังงาน ไม่ใช่หน่วยองศา

เมื่อ พิจารณาผลต่างอุณหภูมิใน สูตรความร้อนจำเพาะ ค่าสัมประสิทธิ์ต่อ หนึ่งเคลวินกับ ต่อ หนึ่ง องศาเซลเซียสมีค่าตัวเลขเท่ากัน แต่ต้องใช้สเกลเดียวกันสำหรับอุณหภูมิทั้งสองค่าก่อนลบ

ตัวอย่างที่ 2 แปลงสเกลก่อนเปรียบเทียบ

เครื่องวัดอากาศรายงาน 86°F ส่วนผิวแผ่นทดสอบมีอุณหภูมิ 20°C จงหาผลต่างอุณหภูมิอากาศกับผิวในหน่วย K และระบุทิศการถ่ายเทความร้อนสุทธิระหว่างสองส่วน

วิธีคิด แปลงอุณหภูมิอากาศเป็น $(86 - 32)(5/9) = 30^{\circ}\text{C}$ ก่อนลบกับค่าผิว จึงต่าง $30 - 20 = 10$ องศาเซลเซียส หรือ 10 K อากาศมีอุณหภูมิสูงกว่า การถ่ายเทสุทธิระหว่างคู่นี้จึงจากอากาศสู่ผิว ไม่ใช่ $86 - 20$ เพราะเป็นค่าจากคนละสเกล

ตอบ ต่าง 10 K และถ่ายเทสุทธิจากอากาศสู่ผิว

1.3 การสอบเทียบและช่วงใช้งาน

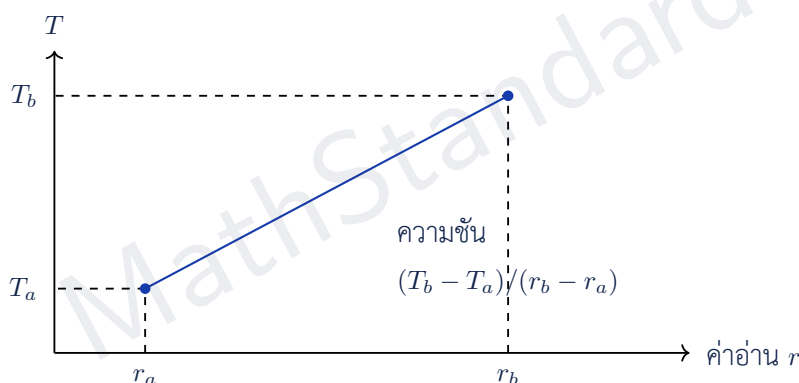
การสอบเทียบเปรียบเทียบค่าที่เครื่องอ่านกับค่าอ้างอิงที่ทราบภายใต้เงื่อนไขกำหนด เครื่องที่อ่านคลาดไปเท่ากันทุกจุดอาจแก้ด้วยค่าชดเชย แต่ถ้าขนาดช่วงอ่านผิดด้วยต้องแก้ความชัน การใช้จุดอ้างอิงสองจุดจึงช่วยกำหนดแบบจำลองเส้นตรงได้ครบ

แบบจำลองจากจุดอ้างอิงสองจุด

$$T = T_a + \frac{T_b - T_a}{r_b - r_a}(r - r_a)$$

r คือค่าที่อ่าน และ T คืออุณหภูมิที่ประมาณจากแบบจำลอง จุด (r_a, T_a) กับ (r_b, T_b) เป็นข้อมูลอ้างอิงสองจุด โดย $r_a \neq r_b$ ใช้เมื่อมีข้อมูลรองรับความสัมพันธ์เส้นตรงในช่วงนั้น

เมื่อหาผลต่างระหว่างการวัดสองครั้ง ค่าชดเชยคงที่หักล้างกัน แต่ความชันยังคูณผลต่างที่อ่าน ต้องตรวจทั้งการแปลงค่าเดียวและการแปลงผลต่าง การได้เส้นตรงผ่านสองจุดไม่ได้ยืนยันความเป็นเส้นตรงนอกช่วงหรือความถูกต้องทุกสภาวะแวดล้อม



ภาพที่ 2 ค่าที่อ่านเป็นแกนนอน อุณหภูมิอ้างอิงเป็นแกนตั้ง ความชันแปลงขนาดช่วงอ่าน

ตัวอย่างที่ 3 สอบเทียบก่อนหาผลต่าง

เครื่องอ่าน 8 หน่วยที่อุณหภูมิจริง 0°C และ 128 หน่วยที่ 60°C ให้ความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงในช่วงนี้ ถ้าค่าอ่านเปลี่ยนจาก 58 เป็น 98 จงหาอุณหภูมิจริงทั้งสองค่าและผลต่าง

วิธีคิด ช่วงอ่าน $128 - 8 = 120$ หน่วยแทน 60 องศาเซลเซียส จึงมี $T = (r - 8)/2$ ได้ $T_1 = (58 - 8)/2 = 25^{\circ}\text{C}$ และ $T_2 = (98 - 8)/2 = 45^{\circ}\text{C}$ ผลต่าง 20 องศาเซลเซียส หรือคำนวณจาก $(98 - 58)/2$ ทั้งสองค่าที่อ่านอยู่ในช่วงสอบเทียบ

ตอบ 25°C และ 45°C เพิ่มขึ้น 20 องศาเซลเซียส

1.4 ความละเอียด ความคลาดเคลื่อน และการตัดสินใจ

ความละเอียดบอกความต่างเล็กที่สุดที่เครื่องแสดงแยกได้ ไม่เท่ากับความถูกต้อง เครื่องแสดงทศนิยมหลายตำแหน่งอาจยังมีค่าคลาดเคลื่อนจากการสอบเทียบ ตำแหน่งวัด การสัมผัส หรือเวลา รอ การรายงานผลจึงควรใช้ขอบเขตความคลาดเคลื่อนที่ข้อมูลกำหนด ไม่สรุปจากจำนวนหลักบนจอเพียงอย่างเดียว

ใช้ทั้งช่วงค่าที่เป็นไปได้

ถ้า ค่าอ่าน r มี ขอบ คลาด เคลื่อน $\pm e$ องศาเซลเซียส หมายถึงอุณหภูมิจริง T อยู่ใน ช่วง $r - e \leq T \leq r + e$ การรับประกัน $T \geq T_{\min}$ ต้องตรวจ $r - e \geq T_{\min}$ ส่วนการรับประกัน $T \leq T_{\max}$ ต้องตรวจ $r + e \leq T_{\max}$

หากโจทย์กำหนดความคลาดเคลื่อนคงที่ของเครื่องหนึ่ง การอ่านหลายครั้งไม่ได้ทำให้ขอบนั้นแคบลงโดยอัตโนมัติ ส่วนความเปลี่ยนแปลงจากจุดวัดต่างกันเป็นอีกประเด็นหนึ่ง ต้องแยกจากความคลาดเคลื่อนของเครื่อง การตัดสินใจว่าอุณหภูมิถึงเกณฑ์ควรระบุด้วยว่าเกณฑ์รวมค่าที่เท่ากันหรือไม่



ภาพที่ 3 ช่วงอุณหภูมิจริงต้องอยู่ภายในช่วงยอมรับทั้งหมด จึงรับประกันทั้งขอบล่างและขอบบน

ตัวอย่างที่ 4 รับประกันช่วงอุณหภูมิ

เครื่องมีขอบคลาดเคลื่อน ± 1 องศาเซลเซียส ต้องการอุณหภูมิจริงตั้งแต่ 50 ถึง 55°C รวมขอบ จงหาช่วงค่าอ่านที่รับประกันเงื่อนไข และพิจารณาว่าค่าอ่าน 49°C รับประกันอุณหภูมิต่ำกว่า 50°C หรือไม่

วิธีคิด ขอบล่างต้องมี $r - 1 \geq 50$ จึง $r \geq 51$ ขอบบนต้องมี $r + 1 \leq 55$ จึง $r \leq 54$ ต้องใช้ส่วนร่วมของสองเงื่อนไข ค่าอ่าน 49 แทนอุณหภูมิจริง 48 ถึง 50°C ซึ่งอาจต่ำกว่า 50 จึงรับประกันไม่ได้ แม้ปลายช่วงหนึ่งจะเท่ากับเกณฑ์

ตอบ ค่าอ่าน 51 ถึง 54°C และค่าอ่าน 49°C ไม่รับประกัน

แบบฝึกหัดตอนที่ 1

การวิเคราะห์และการให้เหตุผล

ให้แสดงเหตุผล การคำนวณ หรือตารางตามคำถาม โดยรักษาหน่วยและสมมติฐานที่กำหนด

ข้อ 1 อุณหภูมิของขึ้นทดสอบเปลี่ยนจาก -4°C เป็น 16°C แล้วลดเหลือ 6°C จงหาผลต่างแต่ละช่วงผลต่างสุทธิ และอุณหภูมิสุดท้ายหน่วย K

ตอบ

ข้อ 2 เครื่องรายงานอุณหภูมิเพิ่มจาก 95°F เป็น 104°F จงหาอุณหภูมิทั้งสองในสเกลเซลเซียส ผลต่างในหน่วย K และอุณหภูมิสุดท้ายในหน่วย K

ตอบ

ข้อ 3 เครื่องอ่าน 20 หน่วยเมื่ออุณหภูมิจริง 10°C และอ่าน 140 หน่วยเมื่อจริง 70°C กำหนดความสัมพันธ์เส้นตรงในช่วงนี้ จงหาอุณหภูมิเมื่ออ่าน 84 และ 100 หน่วย พร้อมผลต่างอุณหภูมิจริง

ตอบ

ข้อ 4 เครื่องมีความสัมพันธ์ $r = T + \delta$ โดย r, T มีหน่วยองศาเซลเซียส และ δ เป็นค่าชดเชยคงที่ของเครื่องเดียวกันในช่วง $-0.5 \leq \delta \leq 0.5$ ถ้าอ่านจาก 22 เป็น 28 จงหาช่วงอุณหภูมิจริงแต่ละครั้ง และผลต่างจริง อธิบายว่าเหตุใดจึงไม่จำเป็นที่ช่วงคนละค่า δ มาหาผลต่าง

ตอบ

ข้อ 5 ต้องการอุณหภูมิจริง $18 \leq T \leq 22^{\circ}\text{C}$ เครื่องมีขอบคลาดเคลื่อน ± 0.4 องศาเซลเซียส จงหาช่วงค่าอ่านที่รับประกันได้ และตรวจค่าอ่าน 18.2°C

ตอบ

ข้อ 6 แผ่นไม้กับแผ่นโลหะอยู่ในห้องนานจนเครื่องวัดที่สอบเทียบแล้วอ่านได้ 25°C เท่ากัน นักเรียนสรุปว่า “โลหะต้องเย็นกว่าเพราะสัมผัสแล้วเย็นกว่า และเครื่องที่แสดงสองตำแหน่งทศนิยมต้องถูกกว่าเครื่องหนึ่งตำแหน่งเสมอ” จงพิจารณาข้อสรุปทั้งสอง พร้อมระบุสิ่งที่ควรตรวจในการเปรียบเทียบผลวัด

ตอบ

เฉลยวิธีคิดและเกณฑ์ตรวจ

การวิเคราะห์และการให้เหตุผล

ข้อ 1

วิธีคิด ช่วงแรก $16 - (-4) = 20$ K ช่วงหลัง $6 - 16 = -10$ K ผลต่างสุทธิ $20 - 10 = 10$ K ตรงกับ $6 - (-4)$ อุณหภูมิสุดท้ายแปลงจาก 6°C เป็น $6 + 273.15 = 279.15$ K ต้องไม่บวกค่าขีดเซสเกลให้ผลต่าง

ตอบ $+20, -10, +10$ K และ 279.15 K

กลับไปโจทย์ข้อ 1

เกณฑ์ตรวจ (4 คะแนน): ผลต่างสองช่วง 1 คะแนน ผลต่างสุทธิ 1 คะแนน แปลงค่าปลายทาง 1 คะแนน หน่วยและการแยกค่าออกจากผลต่าง 1 คะแนน

ข้อ 2

วิธีคิด ใช้ $T_C = (T_F - 32)5/9$ ได้ $(95 - 32)5/9 = 35^{\circ}\text{C}$ และ $(104 - 32)5/9 = 40^{\circ}\text{C}$ ผลต่าง 5 องศาเซลเซียสเท่ากับ 5 K ส่วนค่าปลายทางคือ $40 + 273.15 = 313.15$ K

ตอบ $35^{\circ}\text{C}, 40^{\circ}\text{C}$ ผลต่าง 5 K และปลายทาง 313.15 K

กลับไปโจทย์ข้อ 2

เกณฑ์ตรวจ (4 คะแนน): แปลงสองค่า 2 คะแนน ผลต่าง 1 คะแนน ค่าเคลวินปลายทาง 1 คะแนน

ข้อ 3

วิธีคิด ความชัน $(70 - 10)/(140 - 20) = 0.5$ จึง $T = 10 + 0.5(r - 20) = 0.5r$ ได้ 42°C กับ 50°C ผลต่าง 8 K ค่าที่อ่านทั้งสองอยู่ระหว่างจุดอ้างอิง จึงใช้แบบจำลองในช่วงที่กำหนด

ตอบ 42°C และ 50°C ผลต่าง 8 K

กลับไปโจทย์ข้อ 3

เกณฑ์ตรวจ (4 คะแนน): สมการสอบเทียบ 1 คะแนน อุณหภูมิสองค่า 2 คะแนน ผลต่างพร้อมช่วงใช้แบบจำลอง 1 คะแนน

ข้อ 4

วิธีคิด เพราะ $T = r - \delta$ ครั้งแรกอยู่ 21.5 ถึง 22.5°C ครั้งหลังอยู่ 27.5 ถึง 28.5°C แต่ใช้ δ เดียวกัน จึง $T_2 - T_1 = (28 - \delta) - (22 - \delta) = 6$ K การเลือก 21.5 กับ 28.5 จะใช้ δ คนละค่าและขัดกับเงื่อนไข

ตอบ $[21.5, 22.5]^{\circ}\text{C}$ และ $[27.5, 28.5]^{\circ}\text{C}$ ผลต่างจริง 6 K

กลับไปโจทย์ข้อ 4

เกณฑ์ตรวจ (4 คะแนน): ช่วงสองครั้ง 2 คะแนน ผลต่าง 1 คะแนน เหตุผลค่าขีดเซสร่วมกัน 1 คะแนน