



Sunlight



Oxygen



Carbon Dioxide
 CO_2

BIO



Sugar

PHYSICS

ไขปริศนาชีววิทยาด้วยฟิสิกส์

ระดับ
ม.ปลาย

Water
 H_2O



พรศักดิ์ สมมาตย์

สารบัญ

คำชี้แจงในการใช้หนังสือ	6
ส่วนที่ 1 หน่วยพื้นฐานของสิ่งมีชีวิต	7
บทที่ 1 การศึกษาชีววิทยา	9
บทที่ 2 เคมีที่เป็นพื้นฐานของสิ่งมีชีวิต	18
บทที่ 3 เซลล์และการทำงานของเซลล์	35
ส่วนที่ 2 พันธุศาสตร์และวิวัฒนาการ	67
บทที่ 4 โครโมโซมและสารพันธุกรรม	69
บทที่ 5 การถ่ายทอดทางพันธุกรรม	87
บทที่ 6 เทคโนโลยีทางดีเอ็นเอ	100
บทที่ 7 วิวัฒนาการ	113
ส่วนที่ 3 พืช	129
บทที่ 8 การสืบพันธุ์ของพืชดอก	131
บทที่ 9 โครงสร้างการเจริญเติบโตของพืชดอก	139
บทที่ 10 การลำเลียงของพืช	147
บทที่ 11 การสังเคราะห์ด้วยแสง	152
บทที่ 12 การควบคุมการเจริญเติบโตและการตอบสนองของพืช	161
ส่วนที่ 4 สัตว์ (การทำงานร่วมกันของระบบอวัยวะ)	171
บทที่ 13 ระบบย่อยอาหาร	173
บทที่ 14 ระบบหายใจ	187
บทที่ 15 ระบบหมุนเวียนเลือด	200
บทที่ 16 ระบบภูมิคุ้มกัน	215
บทที่ 17 ระบบขับถ่าย	221
บทที่ 18 ระบบประสาท	231

บทที่ 19 ระบบการเคลื่อนที่	255
บทที่ 20 ระบบต่อมไร้ท่อ	273
บทที่ 21 ระบบสืบพันธุ์	286

ส่วนที่ 5 ความหลากหลายทางชีวภาพและสิ่งแวดล้อม (การอยู่ร่วมกันของสิ่งมีชีวิต) 303

บทที่ 22 พฤติกรรมของสัตว์	305
บทที่ 23 ความหลากหลายทางชีวภาพ	315
บทที่ 24 ระบบนิเวศ	324
บทที่ 25 มนุษย์กับความยั่งยืนของทรัพยากรธรรมชาติ	344

ส่วนที่ 6 ภาคผนวก 361

NOTE

สารบัญได้เรียงลำดับหัวข้อจากส่วนที่เล็กที่สุดของสิ่งมีชีวิต คือ เซลล์ ไปยังส่วนที่ใหญ่ที่สุด คือ กลุ่มของสิ่งมีชีวิต ระดับประชากรในระบบนิเวศ

คำชี้แจงในการใช้หนังสือ

แต่ละบทในหนังสือจะเรียงเรียงตามเนื้อหาในหนังสือแบบเรียนวิชาชีววิทยาของ สสวท. ที่ใช้เรียนกันในปัจจุบัน เพื่อให้นักเรียนอ่านทำความเข้าใจได้ง่ายขึ้น

ในโจทย์ปัญหาจะแทรกรายละเอียด ดังนี้

1. มีการระบุหัวข้อเรื่องของวิชาฟิสิกส์แทรกอยู่ในโจทย์ปัญหา เช่น

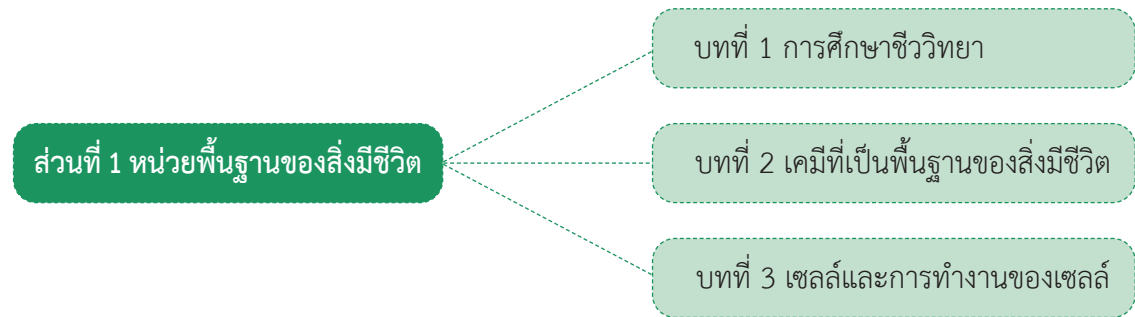
บทที่ 3 เซลล์และการทำงานของเซลล์	กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านเยื่อหุ้มเซลล์
บทที่ 14 ระบบย่อยอาหาร	การใช้คลื่นเสียงความถี่สูงตรวจก้อนนิ่ว (Gall stone) ในถุงน้ำดี
บทที่ 15 ระบบหมุนเวียนเลือด	การหาขนาดของเซลล์เม็ดเลือดแดงโดยวิธีการแทรกสอดของแสง
บทที่ 18 ระบบประสาท	วงจรกรองความถี่ในเซลล์ประสาทของหมี
บทที่ 20 ระบบต่อมไร้ท่อ	กระบวนการทางอุณหพลศาสตร์ที่เกิดขึ้นในตัวแมลง

2. แนวคิดของข้อสอบชีววิทยาในแต่ละปีที่เกี่ยวข้องกับโจทย์ปัญหาในข้อนั้น ๆ โดยอ้างอิงจากข้อสอบวิชาสามัญชีววิทยา พ.ศ. 2555-2565 และข้อสอบ A-Level วิชาชีววิทยา พ.ศ. 2566

ส่วนที่ 01

หน่วยพื้นฐานของสิ่งมีชีวิต





เนื้อหาในส่วนนี้จะเป็พื้นฐานในการศึกษาชีววิทยาในบทต่อ ๆ ไป เพราะความรู้ (Knowledge) และกระบวนการ (Process) ทั้งสองอย่างจะเป็นองค์ประกอบหลักในการศึกษาชีววิทยา อย่างเรื่องธาตุอะตอม โมเลกุล ที่เป็นพื้นฐานของสิ่งมีชีวิตจะประกอบขึ้นเป็นเซลล์

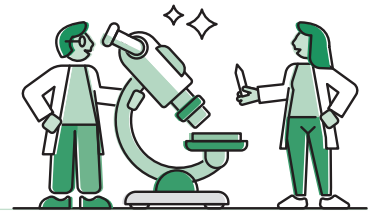
เซลล์ (Cell) เป็นส่วนย่อยของสิ่งมีชีวิตเกือบทุกชนิด ออร์แกเนลล์ (Organelle) แต่ละชนิดที่อยู่ในเซลล์ก็เหมือนกับอวัยวะต่าง ๆ ที่ทำงานประสานกันเป็นระบบของอวัยวะในร่างกายของเรา ซึ่งจะทำงานร่วมกันเพื่อให้เราสามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ ออร์แกเนลล์ที่มีเยื่อหุ้ม 2 ชั้น ที่รู้จักกันดี เช่น

- ไมโทคอนเดรีย (Mitochondria) จะเกิดกระบวนการหายใจระดับเซลล์ที่เป็นส่วนที่สลายสารอาหารเพื่อสร้างพลังงาน เปรียบได้กับระบบย่อยอาหารในร่างกายที่ย่อยอาหารจนได้สารอาหารโมเลกุลเดี่ยวเพื่อดูดซึมเข้าสู่ระบบหมุนเวียนเลือดและน้ำเหลือง
- ไซโทสเกเลทอล (Cytoskeleton) ทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ ไมโครทิวบูล (Microtubule) ไมโครฟิลาเมนต์ (Microfilament) และอินเทอร์มีเดียทฟิลาเมนต์ (Intermediate filament) ที่เป็นระบบโครงร่างเสริมความแข็งแรงให้กับเซลล์ เปรียบได้กับระบบโครงกระดูกและกล้ามเนื้อที่ใช้ในการเคลื่อนไหว
- ไซโทพลาซึม (Cytoplasm) ที่เป็นของเหลวในเซลล์เปรียบได้กับระบบหมุนเวียนเลือดและระบบน้ำเหลืองในร่างกาย
- เอนโดพลาสมิกเรติคูลัมชนิดเรียบ (Smooth endoplasmic reticulum: SER) ซึ่งมีหน้าที่กำจัดสารพิษในเซลล์ก็เทียบเคียงได้กับตับที่เป็นอวัยวะกำจัดสารพิษและไต



บทที่ 1

การศึกษาชีววิทยา



1. คุณสมบัติที่สำคัญอย่างหนึ่งของสิ่งมีชีวิต คือ การรักษาอุณหภูมิของร่างกาย (Homeostasis) เพื่อให้ร่างกายสามารถดำเนินชีวิตได้อย่างปกติ การรักษาอุณหภูมิของร่างกาย (Thermoregulation) ถือเป็นหนึ่งในกระบวนการรักษาสมดุลของร่างกาย สมมติให้เด็กชายคนหนึ่งมีมวล 50.0 กิโลกรัม มีไข้สูง 40.0 องศาเซลเซียส เมื่อเขาดื่มน้ำอัดลมที่ไม่มีน้ำตาลปริมาตร 0.50 ลิตร อุณหภูมิ 10.0 องศาเซลเซียส ทั้งกระป๋องในคราวเดียว ถ้าความจุความร้อนจำเพาะของร่างกายของเด็กชายคนนี้เท่ากับ 3,500 จูลต่อกิโลกรัม-องศาเซลเซียส และไม่คิดความร้อนที่เกิดจากกระบวนการเมแทบอลิซึม หลังจาก que เด็กชายคนนี้ดื่มน้ำอัดลมเข้าไปแล้วอุณหภูมิของร่างกายจะลดลงเท่าไร

กำหนดให้ ความจุความร้อนจำเพาะของน้ำอัดลมมีค่าเดียวกับน้ำซึ่งเท่ากับ 4,200 จูลต่อกิโลกรัม-องศาเซลเซียส

ความหนาแน่นของน้ำอัดลมเท่ากับ 1.00 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

1. 0.18 องศาเซลเซียส
2. 0.36 องศาเซลเซียส
3. 0.40 องศาเซลเซียส
4. 0.42 องศาเซลเซียส
5. อุณหภูมิของร่างกายไม่เปลี่ยนแปลง

2. (แนวคิดข้อสอบวิชาสามัญ) วิถีเมแทบอลิซึม (Metabolic Pathway) เป็นปฏิกิริยาต่อเนื่องที่เกิดขึ้นในสิ่งมีชีวิตโดยมีเอนไซม์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เมื่อเกิดปฏิกิริยาต่อเนื่องสารผลิตภัณฑ์จะกลายไปเป็นสารตั้งต้นของปฏิกิริยาถัดไป ดังนี้



เช่น สารผลิตภัณฑ์ N ของปฏิกิริยาแรก (มีเอนไซม์ A เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา) จะกลายไปเป็นสารตั้งต้นของปฏิกิริยาถัดไปที่มีเอนไซม์ B เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ดังนั้น การเติมตัวยับยั้งเอนไซม์ A จะทำให้สารตั้งต้น M เพิ่มขึ้น ส่วนสารผลิตภัณฑ์ N จะลดลง



จากโจทย์ข้อ 1. หากร่างกายของเด็กชายคนนี้ มีการปลดปล่อยพลังงานออกมาในอัตรา (Basal metabolic rate: BMR) 7.00×10^3 กิโลจูลต่อวัน ร่างกายของเขาจะใช้เวลานานเท่าไรในการเพิ่มอุณหภูมิของร่างกายกลับมาเท่าเดิม

1. 59 วินาที
2. 9 นาที
3. 10 นาที
4. 13 นาที
5. อุณหภูมิไม่เปลี่ยนแปลง

3. (แนวคิดข้อสอบวิชาสามัญ) การสร้างและการสลายสารอาหารหรือกระบวนการเมแทบอลิซึม (Metabolism) จะเกิดขึ้นได้ดีเมื่อสารต่าง ๆ ลำเลียงเข้าสู่เซลล์และมีการลำเลียงของเสียออกจากเซลล์ในอัตราที่เหมาะสม อัตราเมแทบอลิซึมจึงแปรผันกับปริมาตรของเซลล์และพื้นที่ผิวของเซลล์ ดังนั้น เซลล์ที่มีปริมาตรน้อยแต่พื้นที่ผิวของเซลล์มากจึงเกิดอัตราเมแทบอลิซึมได้ดีกว่าเซลล์ที่มีปริมาตรเท่า ๆ กันแต่มีพื้นที่ผิวของเซลล์น้อยกว่า

กระบวนการเมแทบอลิซึมจะทำงานร่วมกับกลไกการรักษาสมดุล เช่น หากอุณหภูมิในสิ่งแวดล้อมต่ำ อุณหภูมิภายในร่างกายจะไปกระตุ้นไฮโปทาลามัสทำให้เกิดการสลายสารอาหาร (Catabolism) เพื่อปล่อยพลังงานความร้อนออกมา ในทางกลับกันเมื่อร่างกายมีอุณหภูมิสูง ไฮโปทาลามัสจะไปกระตุ้นให้ต่อมเหงื่อหลั่งเหงื่อออกมาเพื่อระบายความร้อน การขับเหงื่อจึงถือเป็นกลไกในการควบคุมสมดุลความร้อนของร่างกายมนุษย์

หากผู้หญิงคนหนึ่งหนัก 48 กิโลกรัม ต้องการลดอุณหภูมิของร่างกายลง 1.0 องศาเซลเซียส โดยการขับเหงื่อ จะต้องดื่มน้ำเพื่อชดเชยปริมาณที่สูญเสียไปจากการขับเหงื่อปริมาตรเท่าไร

กำหนดให้ ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอของน้ำที่อุณหภูมิร่างกาย 36.5 องศาเซลเซียส เท่ากับ 2.40×10^6 จูลต่อเคลวิน

ความจุความร้อนจำเพาะของร่างกายมนุษย์เท่ากับ 3,500 จูลต่อกิโลกรัม-เคลวิน

1. 30 มิลลิลิตร
2. 40 มิลลิลิตร
3. 50 มิลลิลิตร
4. 60 มิลลิลิตร
5. 70 มิลลิลิตร

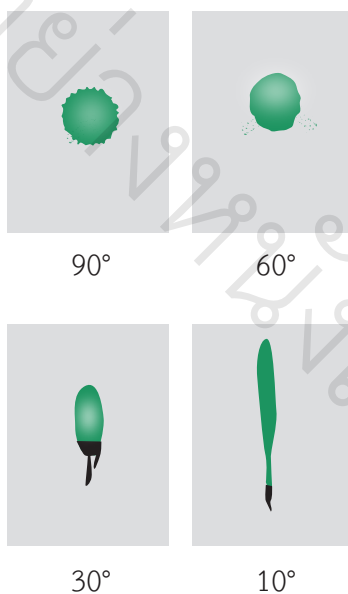


4.

นิติวิทยาศาสตร์เป็นสาขาวิชาที่นำความรู้ทางชีววิทยา ไม่ว่าจะเป็นสัณฐานวิทยา (Morphology) กายวิภาคศาสตร์ (Anatomy) หรือสาขาที่ศึกษาการทำงานของระบบอวัยวะที่เรียกว่า สรีรวิทยา (Physiology) มาใช้ประโยชน์ในสายงานอาชีวสืบสวนสอบสวน หยตเลือดที่เกิดจากอุบัติเหตุหรือจากการฆาตกรรมสามารถคำนวณหาความเร็วได้ โดยตรวจสอบจากมุมการสาดกระเซ็นของหยตเลือด นักนิติวิทยาศาสตร์จึงใช้ลักษณะของหยตเลือดที่ตกลงบนพื้นเพื่อวินิจฉัยการเกิดอุบัติเหตุ สมมติว่าชายคนหนึ่งขับรถไปบนถนนทางหลวงแล้วเกิดอุบัติเหตุรถชน เจ้าหน้าที่ได้ประมาณมุมการตกของหยตเลือดที่พบบนถนนเท่ากับ 30 องศา

หากชายคนนี้ได้รับบาดเจ็บศีรษะแตก มีตำแหน่งของศีรษะอยู่สูงจากพื้นถนนถึงตำแหน่งคนนั่ง 1.25 เมตร ถ้าเลือดที่กระเซ็นออกไปเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ ความเร็วของรถยนต์ในขณะที่เกิดอุบัติเหตุเป็นเท่าไร

กำหนดให้ $\sqrt{2} = 1.414$ และ $\sqrt{3} = 1.732$



รูปแสดงลักษณะของหยตเลือดที่มุมต่าง ๆ

1. รถยนต์จอดนิ่งอยู่กับที่
2. 29.19 กิโลเมตรต่อชั่วโมง
3. 31.18 กิโลเมตรต่อชั่วโมง
4. 42.54 กิโลเมตรต่อชั่วโมง
5. 55.90 กิโลเมตรต่อชั่วโมง



Biophysics ไบปรศนาชีววิทยาด้วยฟิสิกส์

ส่วนที่ 1 หน่วยพื้นฐานของสิ่งมีชีวิต

5. การตรวจคลื่นไฟฟ้าในสมอง (Electroencephalography: EEG) เป็นการบันทึกสัญญาณไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในกลุ่มเซลล์สมองทำให้สามารถศึกษาความผิดปกติและตำแหน่งที่ทำงานผิดปกติในสมองได้ สัญญาณไฟฟ้านี้จะส่งออกมาในลักษณะคลื่นไฟฟ้าที่มีความถี่และความสูง-ต่ำของคลื่นต่อเนื่องเป็นกราฟบนจอภาพทำให้วินิจฉัยโรคบางอย่างได้ เช่น โรคลมชักหรือลมบ้าหมู (Epilepsy) จากตาราง ข้อมูลค่าสนามไฟฟ้าตามส่วนต่าง ๆ ของร่างกายตรงกับข้อใด

ส่วนของร่างกาย	ค่าประมาณของความต่างศักย์ไฟฟ้า	ค่าประมาณระยะห่างของขั้วไฟฟ้า
ศีรษะขณะที่อยู่นิ่ง ๆ	50.0 μ V	10.0 cm
ปลายแขน ขณะที่ถูกกระตุ้น	0.7 mV	3.5 cm
ตรงกลางหน้าอก ขณะทำกิจกรรมเล็กน้อย	1.0 mV	4.0 cm

1. สนามไฟฟ้าที่ศีรษะเท่ากับ 5×10^{-4} โวลต์ต่อเมตร
2. สนามไฟฟ้าที่แขนเท่ากับ 25 มิลลิโวลต์ต่อเมตร
3. สนามไฟฟ้าที่ศีรษะและแขนเท่ากับ 5×10^{-4} โวลต์ต่อเมตร
4. สนามไฟฟ้าที่แขนและหน้าอกเท่ากับ 20 มิลลิโวลต์ต่อเมตร
5. สนามไฟฟ้าแต่ละส่วนของร่างกายมีค่าเท่ากัน

เฉลยข้อสอบบทที่ 1

1. 2

2. 4

3. 5

4. 3

5. 1

1. ข้อข้อ 2

วิเคราะห์โจทย์

อุณหภูมิของร่างกายสูงกว่าอุณหภูมิของน้ำอัดลม ทำให้ความร้อนของร่างกายเกิดการถ่ายโอนไปยังน้ำอัดลมที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า จนในที่สุดก็เข้าสู่สมดุลความร้อน เกิดเป็นอุณหภูมิใหม่เป็น T ซึ่งเป็นอุณหภูมิสุดท้าย มวลของน้ำอัดลม 1 ลิตร มีค่าใกล้เคียงกับมวลของน้ำ 1 กิโลกรัม (ความหนาแน่น 1 g/cm^3) ความร้อนที่เกิดขึ้นเป็นความร้อนที่เกิดจากการเปลี่ยนอุณหภูมิ ไม่ใช่ความร้อนที่เกิดจากการเปลี่ยนสถานะ จึงใช้ความสัมพันธ์ $\Delta Q = mc\Delta T$

กำหนดให้	ความร้อนที่เกิดในร่างกายเป็น	ΔQ_B
	มวลของร่างกายเป็น	m_B
	ความจุความร้อนจำเพาะของร่างกายเป็น	c_B
	ความร้อนในน้ำอัดลมเป็น	ΔT
	มวลของน้ำอัดลมเป็น	m_W
	ความจุความร้อนจำเพาะของน้ำอัดลมเป็น	c_W

วิธีทำ ความร้อนจากร่างกาย $\Delta Q_B = m_B c_B \Delta T$... ①

ความร้อนจากน้ำอัดลม $\Delta Q_W = m_W c_W \Delta T$... ②

นำสมการ ① เท่ากับสมการ ② (เกิดการถ่ายโอนความร้อน)

$$\Delta Q_B = -\Delta Q_W$$

จะได้ $m_B c_B (T_B - T) = m_W c_W (T - T_W)$

$$m_B c_B T_B - m_B c_B T = m_W c_W T - m_W c_W T_W$$

$$T(m_W c_W + m_B c_B) = m_B c_B T_B + m_W c_W T_W$$

อุณหภูมิเมื่อเข้าสู่สมดุลความร้อน $T = \frac{m_B c_B T_B + m_W c_W T_W}{m_W c_W + m_B c_B}$

$$T = \frac{(50.0 \times 3500 \times 40.0) + (0.50 \times 4200 \times 10.0)}{(0.50 \times 4200) + (50.0 \times 3500)}$$

$$T \approx 39.6^\circ\text{C}$$



Biophysics ไบปรินาชีววิทยาด้วยฟิสิกส์

ส่วนที่ 1 หน่วยพื้นฐานของสิ่งมีชีวิต

ดังนั้น เมื่อร่างกายถ่ายโอนความร้อนให้กับน้ำอืดลมที่ดื่มเข้าไป อุณหภูมิที่สมดุลความร้อนจะมีค่าประมาณ 39.64 องศาเซลเซียส อุณหภูมิของร่างกายจึงลดลง $40.00 - 39.64 = 0.36$ องศาเซลเซียส

2. ตอบข้อ 4

วิเคราะห์โจทย์

อุณหภูมิของร่างกายจะเพิ่มขึ้น $\Delta T = T_2 - T_1 = 40.00 - 39.64 = 0.36^\circ\text{C}$

เปลี่ยนหน่วยอัตราการปลดปล่อยพลังงานของร่างกาย

$$7.00 \times 10^6 \frac{\text{J}}{\text{day}} \times \frac{1 \text{ day}}{86400 \text{ s}} \approx 81 \text{ J/s}$$

วิธีทำ หาความร้อนที่ร่างกายจะต้องใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิ

$$\Delta Q_B = m_B c_B \Delta T$$

หารตลอดด้วยเวลา (t) $\frac{\Delta Q_B}{t} = m_B c_B \frac{\Delta T}{t}$

จัดรูปสมการใหม่

$$t = \frac{m_B c_B \Delta T}{\frac{\Delta Q_B}{t}}$$

พลังงานความร้อนต่อ 1 หน่วยเวลา

แทนค่า

$$\begin{aligned} t &= \frac{50.0 \times 3500 \times 0.36}{81} \\ &= \frac{7000}{9} \text{ s} \\ &= \frac{7000}{9 \times 60} \\ &\approx 12.96 \text{ min} \end{aligned}$$

ดังนั้น ร่างกายของเด็กชายใช้เวลา 12.96 นาที เพื่อให้อุณหภูมิของร่างกายกลับมาเท่าเดิม

3. ตอบข้อ 5

วิเคราะห์โจทย์

ความร้อนของร่างกายที่เพิ่มขึ้นจะเท่ากับความร้อนที่ร่างกายจำเป็นต้องระบายออก และปริมาตรของเหงื่อที่ขับออกจากร่างกายเพื่อระบายความร้อน จำเป็นจะต้องชดเชยด้วยน้ำที่ดื่มเข้าไป

วิธีทำ

$$\Delta Q = m_B c \Delta T \quad \dots \text{ 1}$$

ความร้อนที่เพิ่มขึ้นจะเท่ากับความร้อนที่น้ำระเหยกลายเป็นแก๊ส

$$\Delta Q = m_W L \quad \dots \text{ 2}$$

ปริมาณของน้ำที่ดื่มเข้าไปชดเชยจะเท่ากับน้ำที่ขับออกทางเหงื่อ

$$m_B c \Delta T = m_W L$$

$$\begin{aligned} m_W &= \frac{m_B c \Delta T}{L} \\ &= \frac{48 \times 3500 \times 1.0}{2.40 \times 10^6} \\ &= 0.07 \text{ kg} \\ &= 70 \text{ g} \end{aligned}$$

ดังนั้น น้ำที่ต้องดื่มชดเชยเท่ากับ 70 กรัม หรือ 70 มิลลิลิตร

4. ตอบข้อ 3

วิเคราะห์โจทย์

ความเร็วของรถยนต์สามารถใช้การคำนวณความเร็วสัมพัทธ์ได้ เพราะความเร็วของรถยนต์และความเร็วของเลือดที่กระเซ็นออกเคลื่อนที่สัมพัทธ์กับผู้สังเกต

กำหนดให้ v_{BR} เป็นความเร็วของหยดเลือดเทียบกับถนน

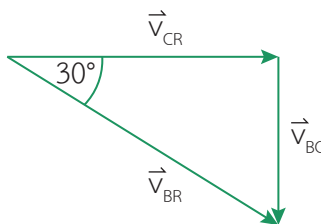
v_{BC} เป็นความเร็วของหยดเลือดเทียบกับรถยนต์

v_{CR} เป็นความเร็วของรถยนต์เทียบกับถนน

ดังนั้น สมการความเร็วสัมพัทธ์ใน 2 มิติ เขียนได้ดังนี้

$$v_{BR} = v_{BC} + v_{CR}$$

เมื่อเขียนเป็นเวกเตอร์ จะได้ดังรูป



เราต้องการหาความเร็วของรถยนต์เทียบกับพื้น จะได้

$$\vec{v}_{CR} = \vec{v}_{BR} - \vec{v}_{BC}$$



Biophysics ไบปรินาชีววิทยาด้วยฟิสิกส์

ส่วนที่ 1 หน่วยพื้นฐานของสิ่งมีชีวิต

วิธีทำ หยอดเลือดจะเคลื่อนที่ตกแบบอิสระ $v^2 = u^2 + 2gh$

ความเร็วในการตกแบบอิสระเป็นความเร็วของหยดเลือดเทียบกับรถยนต์เพราะเป็นความเร็วในแนวตั้ง

ดังนั้น

$$v_{BC}^2 = u_{BC}^2 + 2gh$$

$$v_{BC} = \sqrt{u_{BC}^2 + 2gh}$$

ความเร็วต้นของหยดเลือดที่กระเซ็นออกจะเท่ากับศูนย์ (รถหยุดแล้ว)

$$u_{BC} = 0$$

$$v_{BC} = \sqrt{0 + (2 \times 10 \times 1.25)}$$

$$v_{BC} = \sqrt{25}$$

$$= 5 \text{ m/s}$$

ความเร็วของรถยนต์ในขณะที่เกิดอุบัติเหตุเป็นความเร็วของรถยนต์เทียบกับถนนหรือ v_{CR}

หาได้จากมุมของเวกเตอร์ $\tan 30^\circ = \frac{v_{BC}}{v_{CR}}$

$$v_{CR} = \frac{v_{BC}}{\tan 30^\circ}$$
$$= 5\sqrt{3} \text{ m/s}$$

$$5\sqrt{3} \times \frac{1 \text{ km}}{10^3 \text{ m}} \times \frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ h}} = 18\sqrt{3}$$
$$= 31.18 \text{ km/h}$$

ดังนั้น ในขณะที่เกิดอุบัติเหตุผู้ขายคนนี้ขับรถยนต์ด้วยความเร็ว 31.18 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

5. ตอบข้อ 1

วิเคราะห์โจทย์

ความต่างศักย์ไฟฟ้า V ที่ป้อนให้กับขั้วไฟฟ้าที่ห่างกันระยะทาง d จะทำให้เกิดสนามไฟฟ้า E ระหว่างขั้วไฟฟ้า

วิธีทำ จากความสัมพันธ์

$$E = \frac{V}{d}$$

สนามไฟฟ้าที่ศีรษะ

$$E = \frac{50.0 \times 10^{-6}}{10.0 \times 10^{-2}} = 5 \times 10^{-4} \text{ V/m} = 0.5 \text{ mV/m}$$

สนามไฟฟ้าที่แขน

$$E = \frac{0.7 \times 10^{-3}}{3.5 \times 10^{-2}} = 0.02 \text{ V/m} = 20 \text{ mV/m}$$



ส่วนที่ 02

พันธุศาสตร์และวิวัฒนาการ



ส่วนที่ 2 พันธุศาสตร์และวิวัฒนาการ

บทที่ 4 โครโมโซมและสารพันธุกรรม

บทที่ 5 การถ่ายทอดทางพันธุกรรม

บทที่ 6 เทคโนโลยีทางดีเอ็นเอ

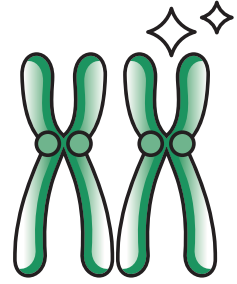
บทที่ 7 วิวัฒนาการ

เรื่องวิวัฒนาการเป็นการเพิ่มมิติทางด้านเวลาเข้ามาในวิชาชีววิทยา เพราะกว่าที่เซลล์ที่เกิดขึ้นตั้งแต่ในช่วงเวลาหลายล้านปีที่ผ่านมาพัฒนาจนเป็นเซลล์ที่มีออร์แกเนลล์ที่ครบถ้วนสมบูรณ์ และกลายมาเป็นสิ่งมีชีวิตเซลล์เดียว เช่น อะมีบา แบคทีเรีย ซึ่งเป็นสิ่งมีชีวิตที่เราคุ้นเคยอย่างข้างต้นไม่ใช่เรื่องง่ายนัก

เรื่องที่ดูเหมือนจะไม่เกี่ยวข้องกับเนื้อหาในส่วนนี้เลย คือ การถ่ายทอดทางพันธุกรรม แต่อย่าลืมว่ายีนที่ปรากฏอยู่ในลำดับนิวคลีโอไทด์ของ DNA จะปรากฏออกมาเป็นฟีโนไทป์ (Phenotype) หรือลักษณะทางพันธุกรรมที่เห็นได้ในสิ่งมีชีวิต และการถ่ายทอดทางพันธุกรรมเป็นเรื่องของยีนหรือจีโนไทป์ (Genotype) ที่ควบคุมลักษณะที่ปรากฏออกมาของสิ่งมีชีวิต

บทที่ 4

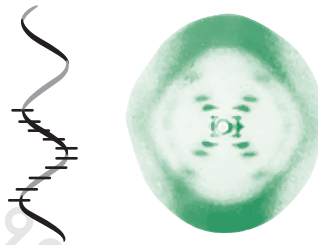
โครโมโซมและสารพันธุกรรม



1.

เจมส์ วัตสัน (James Watson) และฟรานซิส คริก (Francis Crick) ได้ศึกษาโครงสร้างโมเลกุลของ DNA โดยใช้หลักการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (X-ray diffraction) เพื่อดูโครงสร้างเกลียวคู่ (Double helix) ของ DNA ถ้าหากใช้รังสีเอกซ์ที่มีความยาวคลื่น 0.15×10^{-9} เมตร ยิ่งผ่านเบสคู่สม ระยะห่างระหว่างเบสคู่สมในแต่ละลำดับเท่ากับ 3.4 อังสตรอม โครงสร้างของ DNA แสดงได้ดังรูป

ระยะระหว่างเบสแต่ละคู่
เท่ากับ 3.4 อังสตรอม

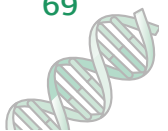


มุมของเกลียว DNA ที่กระทำกับแนวระดับซึ่งเป็นมุมเดียวกับที่รังสีเอกซ์ตกกระทบกับเบสคู่สมแต่ละชั้น ซึ่งสามารถจะเทียบเคียงให้เป็นชั้นแลชทิสแต่ละชั้น มีค่าเท่าไร

กำหนดให้

$\sin 10.45$	$\sin 12.74$	$\sin 14.19$	$\sin 16.82$	$\sin 18.52$
0.18	0.22	0.25	0.29	0.32

1. 10.45 องศา
2. 12.74 องศา
3. 14.19 องศา
4. 16.82 องศา
5. 18.52 องศา



2. โครงสร้างโมเลกุลของ DNA มีขนาดเล็กมาก กว้าง 2.0 นาโนเมตร ในขณะที่แสงซึ่งเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ตาเรามองเห็นมีความยาวคลื่นอยู่ระหว่าง 400-700 นาโนเมตร คลื่นแสงช่วงนี้จะสะท้อนกับผิวของวัตถุที่มีขนาดพอ ๆ กันหรือใหญ่กว่านั้น จากนั้นจะเข้าสู่ดวงตาของเราทำให้เกิดภาพการมองเห็น แต่ขนาด DNA เล็กกว่านั้นมาก การจะมองเห็น DNA จึงต้องทำให้คลื่นที่ทำให้เกิดภาพมีขนาดเท่ากับหรือเล็กกว่า DNA จงเลือกว่าจะใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าหรือใช้คลื่นอนุภาคที่มีพลังงานเท่าไร เพื่อศึกษาโครงสร้างโมเลกุลของ DNA โดยได้ภาพ DNA ที่มีความละเอียด 1,000 พิกเซล ค่าหรือความละเอียดของเมื่อดีสภาพ 1,000 เม็ดสีตามความกว้างของ DNA

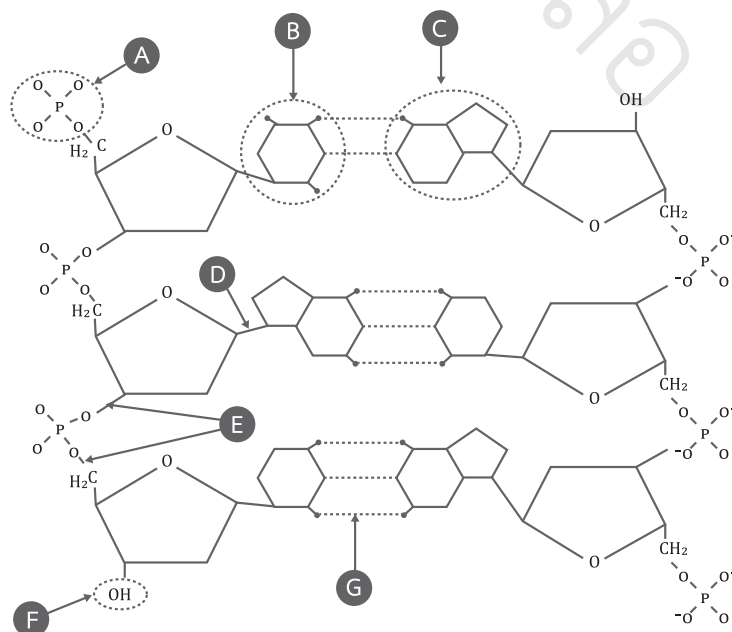
กำหนดให้ ค่าคงตัวพลังค์เท่ากับ 6.63×10^{-34} จูลวินาที

ความเร็วแสงเท่ากับ 3×10^8 เมตรต่อวินาที

อิเล็กตรอนมีประจุและมวลเท่ากับ 1.602×10^{-19} คูโลมบ์ และ 9.11×10^{-31} กิโลกรัมตามลำดับ

1. คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีพลังงานสูงกว่า 6.2×10^5 อิเล็กตรอนโวลต์
2. คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีพลังงานต่ำกว่า 3.7×10^5 อิเล็กตรอนโวลต์
3. คลื่นอนุภาคที่มีพลังงาน 6.2×10^5 อิเล็กตรอนโวลต์
4. คลื่นอนุภาคที่มีพลังงาน 3.7×10^5 อิเล็กตรอนโวลต์
5. ใช้ได้ทั้งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและคลื่นอนุภาค

3. (แนวคิดข้อสอบวิชาสามัญ) จากแผนภาพของสายพอลินิวคลีโอไทด์



สามารถระบุตำแหน่งในสายพอลินิวคลีโอไทด์ได้ดังนี้

ตัวอักษร	คำอธิบาย
A	หมู่ฟอสเฟต
B	ไทมีน (T)
C	อะดีนีน (A)
D	พันธะไกลโคซิดิก
E	พันธะฟอสโฟไดเอสเทอร์
F	หมู่ไฮดรอกซิล
G	พันธะไฮโดรเจน

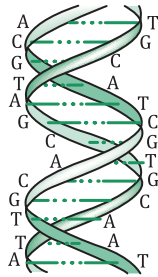
สายพอลินิวคลีโอไทด์ ประกอบด้วยมอนอเมอร์ (Monomer) หรือหน่วยย่อยที่สุดที่เรียกว่านิวคลีโอไทด์ (Nucleotide) โดย 1 นิวคลีโอไทด์จะประกอบด้วยส่วนย่อย 3 ส่วน ได้แก่

- (1) น้ำตาลดีออกซีไรโบสที่เป็นแกนอยู่ตรงกลาง
- (2) ไนโตรจีนัสเบสที่ต่ออยู่ตรงคาร์บอนตำแหน่งที่ 1 ของน้ำตาล
- (3) หมู่ฟอสเฟตจะต่อเข้ากับคาร์บอนตำแหน่งที่ 5 ของน้ำตาล

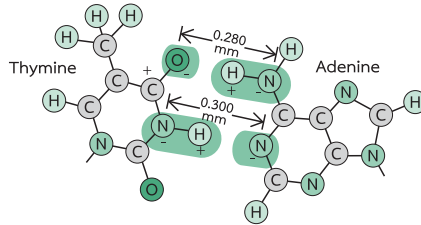
หมู่ฟอสเฟตจะเชื่อมนิวคลีโอไทด์ให้เข้ากับหมู่ไฮดรอกซิลที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 3 ของน้ำตาลของอีกนิวคลีโอไทด์หนึ่งด้วยพันธะฟอสโฟไดเอสเทอร์ (Phosphodiester bond) และต่อแบบนี้ไปเรื่อยๆ จนเป็นสายพอลินิวคลีโอไทด์ ที่บริเวณปลายสายของพอลินิวคลีโอไทด์จะมีตำแหน่งของคาร์บอนที่ 3 และคาร์บอนที่ 5 ของน้ำตาลที่ยังว่าง จึงกลายเป็นที่มาของปลาย 5' และ 3' ของสายพอลินิวคลีโอไทด์ (ในที่นี้คือสาย DNA)

สายพอลินิวคลีโอไทด์ 2 สายจะเชื่อมเข้าด้วยกันด้วยพันธะไฮโดรเจนผ่านเบสคู่สม (Complementary Base Pair) โดยอะดีนีน (Adenine) จะเข้าจับกับไทมีน (Thymine) ดังรูปที่ (2) แรงคูอมบ์ (แรงระหว่างประจุไฟฟ้าทั้งสอง) ของเบสคู่สมนี้เป็นเท่าไร





รูปที่ (1) DNA สายเกลียวคู่
(Double Helix)



รูปที่ (2) การเชื่อมเข้าด้วยกันของไนโตรจีนัสเบส
ไทมีน (T) และอะดีนีน (A)

กำหนดให้ ระยะห่างระหว่างโมเลกุลทั้งหมดเป็นไปตามตาราง

พันธะที่	ชนิดของอะตอม	ระยะห่างระหว่างอะตอม (nm)
1	O — H — N	
	O ⁻ — H ⁺	0.170
	O ⁻ — N ⁻	0.280
2	N — H — N	
	N ⁻ — H ⁺	0.190
	N ⁻ — N ⁻	0.300

กำหนดให้ ค่าคงที่ของคูลอมบ์ = 9×10^9 นิวตัน-เมตรต่อคูลอมบ์

อิเล็กตรอนมีประจุ 1.6×10^{-19} คูลอมบ์

- 3.82×10^{-9} นิวตัน
- 5.02×10^{-9} นิวตัน
- 8.84×10^{-9} นิวตัน
- 2.94×10^{-8} นิวตัน
- 7.96×10^{-8} นิวตัน



จากข้อมูลที่กำหนดให้ ตอบคำถามข้อ 4-7

(แนวคิดข้อสอบ A-Level) DNA 5 โมเลกุล แต่ละโมเลกุลมีเบสคู่สมทั้งหมด 250 คู่ ดังนี้

- ก. V ประกอบด้วยเบสอะดีนีน (A) 150 เบส และเบสกวานีน (G) 100 เบส
- ข. W ประกอบด้วยเบสไซโทซีน (C) 75 เบส
- ค. X ประกอบด้วยเบสไทมีน (T) 125 เบส
- ง. Y ประกอบด้วยเบสอะดีนีน (A) 200 เบส
- จ. Z ประกอบด้วยเบสไทมีน (T) 225 เบส และเบสไซโทซีน (C) 25 เบส

จากข้อมูลทั้งหมด การที่จะทราบว่า DNA โมเลกุลไหนที่ใช้พลังงานในการแยกเกลียวได้ มากน้อยเท่าไร ให้ดูจากพันธะไฮโดรเจนทั้งหมด เพราะ A-T จะจับกันด้วยพันธะไฮโดรเจน 2 พันธะ และ G-C จะจับกันด้วยพันธะไฮโดรเจน 3 พันธะ ดังนั้น DNA โมเลกุลที่มี G-C มากที่สุดจะมี พลังงานระหว่างสายพอลินิวคลีโอไทด์มากที่สุด

โมเลกุล DNA	พันธะไฮโดรเจน 2 พันธะ		พันธะไฮโดรเจน 3 พันธะ	
	A	T	G	C
V	150	150	100	100
W	175	175	75	75
X	125	125	125	125
Y	200	200	50	50
Z	225	225	25	25

หมายเหตุ ส่วนที่เป็นแถบสีเข้มจะเป็นส่วนที่วิเคราะห์เพิ่มเติมจากข้อมูลเดิมโดยใช้กฎของ ชาร์กาฟฟ์ (Chargaff's rule) ดังนั้น จากตารางจึงสรุปได้ว่า X เป็นโมเลกุล DNA ที่มีพลังงานในการยึดสายพอลินิวคลีโอไทด์มากที่สุดหรือมีพันธะไฮโดรเจนมากที่สุด

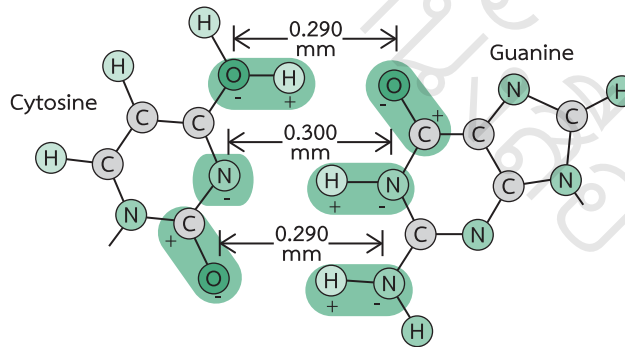
พิจารณาแรงทางไฟฟ้าระหว่างเบสคู่สมกวานีน (Guanine: G) และไซโทซีน (Cytosine: C) พันธะไฮโดรเจนระหว่างเบสทั้งสองจะมี 3 พันธะ ซึ่งมีอะตอมของไฮโดรเจนอยู่ตรงกลาง ดังนี้



กำหนดให้ ระยะห่างระหว่างโมเลกุลทั้งหมดเป็นไปตามตาราง

พันธะที่	ชนิดของอะตอม	ระยะห่างระหว่างอะตอม (nm)
1	O — H — O	
	O ⁻ — H ⁺	0.180
	O ⁻ — O ⁻	0.290
2	N — H — N	
	N ⁻ — H ⁺	0.190
	N ⁻ — N ⁻	0.300
3	O — H — N	
	O ⁻ — H ⁺	0.180
	O ⁻ — N ⁻	0.290

กำหนดให้ ค่าคงที่ของคูลอมบ์ = 9×10^9 นิวตัน-เมตรต่อคูลอมบ์
อิเล็กตรอนมีประจุ 1.6×10^{-19} คูลอมบ์



4. ถ้าแรงทางไฟฟ้าที่กระทำต่อกันอยู่ในแนวเส้นตรงทั้งหมด แรงคูลอมบ์ที่เบสไซโทซีนกระทำกับเบสกวานีนมีค่าเท่าไร

1. 2.74×10^{-9} นิวตัน
2. 3.18×10^{-9} นิวตัน
3. 4.36×10^{-9} นิวตัน
4. 6.36×10^{-9} นิวตัน
5. 1.26×10^{-8} นิวตัน



เฉลยข้อสอบ บทที่ 4

1. 2	2. 4	3. 3	4. 5	5. 1
6. 2	7. 3	8. 4		

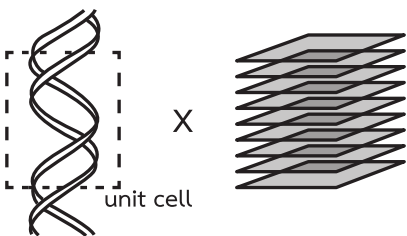
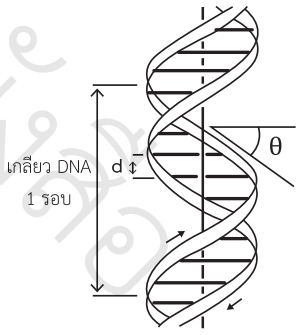
1. ข้อ 2

วิเคราะห์โจทย์

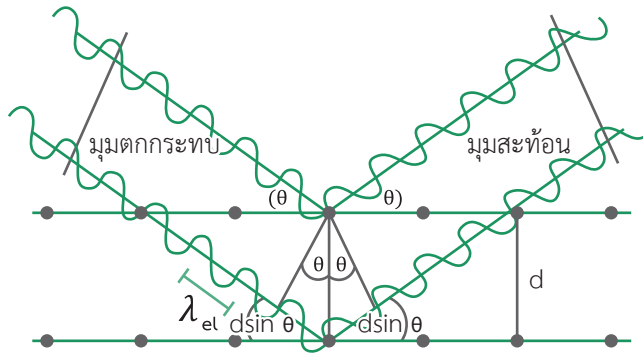
การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ผ่านโครงสร้างโมเลกุล DNA สามารถอธิบายได้ด้วยกฎของเบรกก์ (Bragg's law) รังสีเอกซ์ที่มีความยาวคลื่น 0.15 นาโนเมตร จะเลี้ยวเบนผ่านระยะห่างระหว่างเบสที่เข้าคู่กันซึ่งก็คือ 3.4 อังสตรอม หรือ 0.34 นาโนเมตร ซึ่งมีขนาดที่กว้างกว่าความยาวคลื่นของรังสีเอกซ์

กำหนดให้ d เป็นระยะห่างของชั้นเบสหรืออะตอม ดังรูปที่ (1) และรูปที่ (2)

θ เป็นมุมของเกลียว DNA

	
รูปที่ (1) แสดงเบสในเกลียว DNA ที่เทียบเคียงได้กับแลตทิซที่เป็นชั้น ๆ	รูปที่ (2) แสดงมุมและระยะห่างระหว่างเบสคู่สมแต่ละคู่





รูปที่ (3) แสดงการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ผ่านระนาบของอะตอม

วิธีทำ จากกฎของเบรกก์

$$2d \sin \theta = n\lambda$$

$$\sin \theta = \frac{n\lambda}{2d}$$

$$\theta = \sin^{-1} \left(\frac{n\lambda}{2d} \right)$$

$$\theta = \sin^{-1} \left(\frac{1 \times 1.5 \times 10^{-10}}{2 \times 3.4 \times 10^{-10}} \right)$$

$$\theta = \sin^{-1}(0.22)$$

$$\theta = 12.74$$

ดังนั้น มุมของเกลียวที่กระทำกับแนวระดับมีค่าประมาณ 12.74 องศา

2. ตอบข้อ 4

วิเคราะห์โจทย์

การจะทำให้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วง 400-700 นาโนเมตร มีความยาวคลื่นลดลง จะต้องเพิ่มพลังงานให้กับคลื่นแสงหรือทำให้โฟตอนมีพลังงานเพิ่มขึ้น แต่ถ้าคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า มีพลังงานสูงเกินไปก็จะไปทำลายโมเลกุลของ DNA ให้สูญเสียสภาพ ไม่สามารถใช้ในการศึกษาได้ แต่ถ้าใช้คลื่นของอิเล็กตรอนซึ่งมีโมเมนตัมอยู่ค่าหนึ่งตามหลักการที่ใช้ในกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน ก็พอมีทางเป็นไปได้



ส่วนค่าความละเอียดของภาพเท่ากับ 1,000 พิกเซล หมายความว่า ในช่วงแต่ละความยาวคลื่น จะทำให้เกิดเม็ดสี 1 เม็ดสี หรือ 1 พิกเซล ดังนั้น หากความกว้างของ DNA เท่ากับ 2.0 นาโนเมตร จะต้องใช้ความยาวคลื่น $\frac{2.0 \times 10^{-9}}{1000} = 2.0 \times 10^{-12}$ เมตร เพื่อให้ได้ภาพที่มีความละเอียด ดังกล่าว

วิธีทำ

ขั้นที่ 1 หาพลังงานของแสงหรือคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า $E = nhf$

พิจารณา 1 โฟตอน $n = 1$

$$E = \frac{hc}{\lambda}$$

$$E = \frac{(6.63 \times 10^{-34}) \times (3.0 \times 10^8)}{2.0 \times 10^{-12}}$$

$$E = 9.9 \times 10^{-14} \text{ J}$$

$$E = \frac{9.9 \times 10^{-14}}{1.602 \times 10^{-19}}$$

$$\approx 6.2 \times 10^5 \text{ eV}$$

พลังงานที่คำนวณได้เป็นพลังงานในช่วงของรังสีเอกซ์ ซึ่งสามารถทำลายโมเลกุลของ DNA ให้สูญเสียสภาพได้

ขั้นที่ 2 หาพลังงานของอนุภาคอิเล็กตรอนที่มีความยาวคลื่น $2.0 \times 10^{-12} \text{ m}$

$$E = \frac{1}{2}mv^2$$

$$E = \frac{p^2}{2m} ; p = mv$$

แทนความสัมพันธ์ $p = \frac{h}{\lambda}$ ลงในสมการข้างต้น $E = \frac{h^2}{2m\lambda^2}$

แทนค่า

$$E = \frac{(6.63 \times 10^{-34})^2}{2 \times (9.11 \times 10^{-31}) \times (2.0 \times 10^{-12})^2}$$

$$E = 6.0 \times 10^{-14} \text{ J}$$

$$E \approx \frac{6.0 \times 10^{-14}}{1.602 \times 10^{-19}}$$

$$= 3.7 \times 10^5 \text{ eV}$$



จะเห็นว่า พลังงานจากคลื่นอิเล็กตรอนมีค่าต่ำกว่าเมื่อเทียบกับพลังงานของรังสีเอกซ์ที่เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า จึงเป็นเหตุผลว่าทำไมเราจึงใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนในการศึกษาโครงสร้างเซลล์หรือออร์แกเนลล์ในเซลล์

3. ตอบข้อ 3

วิเคราะห์โจทย์

พันธะระหว่างเบสไทมินและเบสอะดีนีนเป็นพันธะไฮโดรเจน 2 พันธะ จับกันระหว่าง $O-H-N$ และ $N-H-N$ ดังรูปที่ (2) ใช้กฎของคูลอมบ์เพื่อหาแรงทางไฟฟ้าระหว่างอะตอมที่ละคู่ โดยแรงที่เกิดขึ้นที่มีระยะห่างระหว่างอะตอมแต่ละคู่ แสดงได้ดังตาราง

พันธะที่	ชนิดของอะตอม	ระยะห่างระหว่างอะตอม (nm)	ชนิดของแรง
1	$O-H-N$		
	$O^- - H^+$	0.170	แรงดึงดูด
	$O^- - N^-$	0.280	แรงผลัก
2	$N-H-N$		
	$N^- - H^+$	0.190	แรงดึงดูด
	$N^- - N^-$	0.300	แรงผลัก

วิธีทำ จากกฎของคูลอมบ์
$$F = \frac{kQ_1Q_2}{R^2}$$

อะตอมแต่ละอะตอมทั้งหมดจะมีขนาดของประจุเท่ากับ 1.6×10^{-19} คูลอมบ์ เพราะสูญเสียอิเล็กตรอนและรับเพิ่มอิเล็กตรอนอีก 1 อนุภาค ทำให้ประจุสุทธิของธาตุ H, N และ O เท่ากับขนาดของประจุอิเล็กตรอนเพียง 1 อนุภาค

พันธะไฮโดรเจนที่ 1 ($O-H-N$)

$$\begin{aligned} \text{แรงดึงดูดระหว่าง } O^- - H^+ \quad F_1 &= \frac{(9 \times 10^9) \times (1.6 \times 10^{-19})^2}{(1.7 \times 10^{-10})^2} \\ &= 7.96 \times 10^{-9} \text{ N} \\ \text{แรงผลักระหว่าง } O^- - N^- \quad F_2 &= \frac{(9 \times 10^9) \times (1.6 \times 10^{-19})^2}{(2.8 \times 10^{-10})^2} \\ &= 2.94 \times 10^{-9} \text{ N} \end{aligned}$$



ชีวฟิสิกส์ (Biophysics = Biology + Physics) ระดับ ม.ปลาย ครอบคลุมเนื้อหาทุกบทในชีววิทยา ม.ปลาย

นักเรียนหลายคนที่ชอบชีววิทยาแต่ไม่ชอบฟิสิกส์

หรือชอบฟิสิกส์แต่ไม่ชอบชีววิทยา

หนังสือเล่มนี้จะทำให้นักเรียนอ่านแล้วเข้าใจทั้งสองวิชาไปพร้อมๆ กัน

และชอบทั้งสองวิชาไปในคราวเดียวกันจนในที่สุด

นักเรียนจะสามารถเชื่อมโยงทั้งสองวิชาเข้าด้วยกันอย่างง่ายดาย

หลักการ ทฤษฎี และกฎทางฟิสิกส์

สามารถนำไปอธิบายความรู้ทางชีววิทยาได้อย่างไร

หนังสือเล่มนี้มีคำตอบ!

นักเรียนที่อยากเป็นแพทย์ ทันตแพทย์ เภสัชกร

หรือสัตวแพทย์ ต้องอ่าน!



ซื้อสะดวก ส่งถึงบ้านที่ Shopee และ Lazada หรือผ่านทาง
ร้านหนังสือออนไลน์ www.thinkbeyondbook.com



thinkbeyond books

ISBN 978-616-449-596-8



9 786164 495968

ราคา 480 บาท