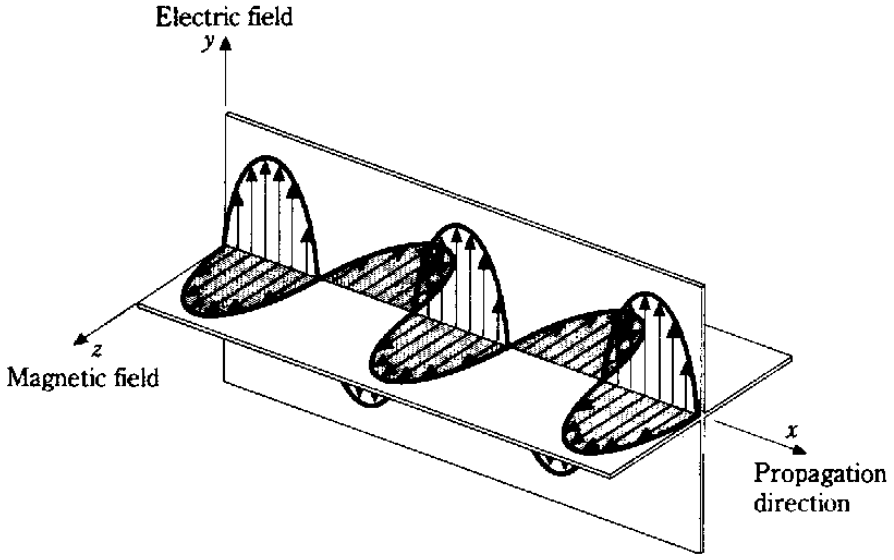
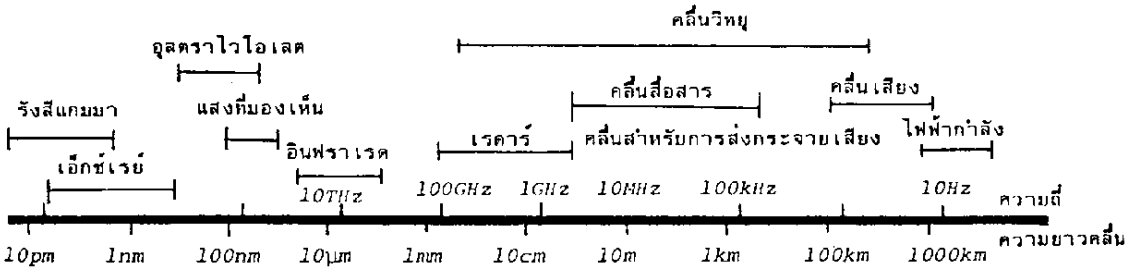
# เอกสารประกอบการเรียนวิชาฟิสิกส์พื้นฐาน
# หน่วยการเรียนรู้ที่ 3 เรื่อง คลื่น (คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า)

## สเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า และคุณสมบัติของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า




รูปแสดงการเปลี่ยนแปลงสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้าในคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ไม่ใช่เป็นคลื่นของสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กเพียงอย่างเดียวเท่านั้น คลื่นวิทยุ, คลื่นแสง, คลื่นรังสีเอกซ์ และคลื่นรังสีแกมมาก็เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเหมือนกันซึ่งมีความยาวคลื่นและความถี่ต่างๆกัน ดังแสดงไว้ดังรูปที่ 14




รูปที่14 ชนิดของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจึงเป็นคลื่นที่มีความถี่ตั้งแต่หลายสิบกิโลเฮิรตซ์ จนกระทั่งถึงรังสีเอกซเรย์หรือรังสีแกมมาที่มีความถี่สูงมากๆ เมื่อความถี่เปลี่ยนไปคุณสมบัติของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้านั้นๆก็ย่อมเปลี่ยนแปลงไปด้วยแต่ก็ยังมีคุณสมบัติร่วมกันอยู่คือมีอัตราเร็วเท่ากับ $3x10^8$ เมตร/วินาที

## 1. คลื่นวิทยุและการกระจายคลื่นวิทยุ

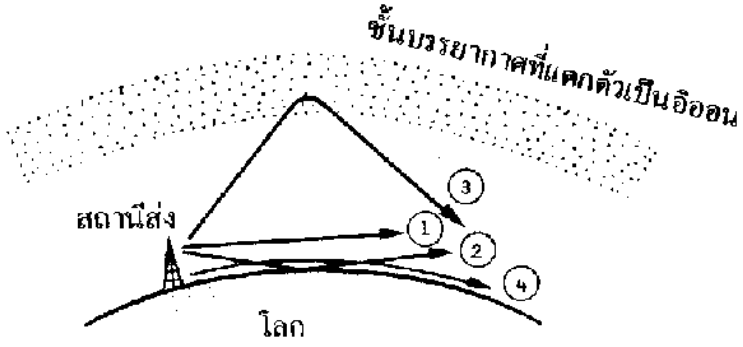
คลื่นวิทยุเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่อยู่ในช่วง $10^4$-$10^5$ เฮิรตซ์ คลื่นวิทยุแต่ละชนิดจะแบ่งไปตามความถี่ของมัน ซึ่งแต่ละช่วงความถี่จะมีชื่อเรียกต่างๆกัน ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ชนิดและชื่อเรียกของคลื่นวิทยุ

| ชื่อเรียกทั่วไป | ชื่อย่อตามช่วงความถี่ | ช่วงความถี่ | ขนาดคลื่น | การใช้งาน |
|---|---|---|---|---|
| คลื่นยาว | | 3 kHz | 100 km | สื่อสารทางทะเล |
| | VLF | 3-30 kHz | 100-1 km | |
| | LF | 30-300 kHz | 10-1 km | |
| คลื่นกลาง | MF | 300-3000 kHz | 1000-100 m | การส่งกระจายเสียงภาค AM |
| คลื่นสั้น | HF | 3-30 MHz | 100-10 m | คลื่นสั้น, สื่อสารระหว่างประเทศ |
| คลื่นสั้นมาก | VHF | 30-300 MHz | 10-1 m | คลื่นโทรทัศน์และวิทยุภาค FM |
| คลื่นไมโครเวฟ | UHF | 300-3000 MHz | 100-10 cm | คลื่นโทรทัศน์และไมโครเวฟ |
| | SHF | 3-30 GHz | 10-1 cm | สื่อสารไมโครเวฟ เรดาร์ |
| คลื่นมิลิเวฟ | EHF | 30-300 GHz | 10-1 cm | เรดาร์ |
| คลื่นซับมิลิเวฟ | | 300-3000 GHz | 1-0.1 mm | |

### การกระจายคลื่นวิทยุ

เสาอากาศจะทำหน้าที่เป็นแหล่งกระจายคลื่นวิทยุ ให้กระจายออกไปในบรรยากาศ หลักการกระจายคลื่นวิทยุนั้นขึ้นอยู่กับความถี่ และระยะทางจากแหล่งกำเนิดคลื่น (สถานีขนส่ง) จนถึงแหล่งรับคลื่น (สถานีรับ) ดังรูปที่ 15




รูปที่ 15 วิธีการกระจายคลื่นวิทยุแบบต่างๆ

ตารางที่ 2 วิธีการกระจายคลื่นดังรูปที่ 15

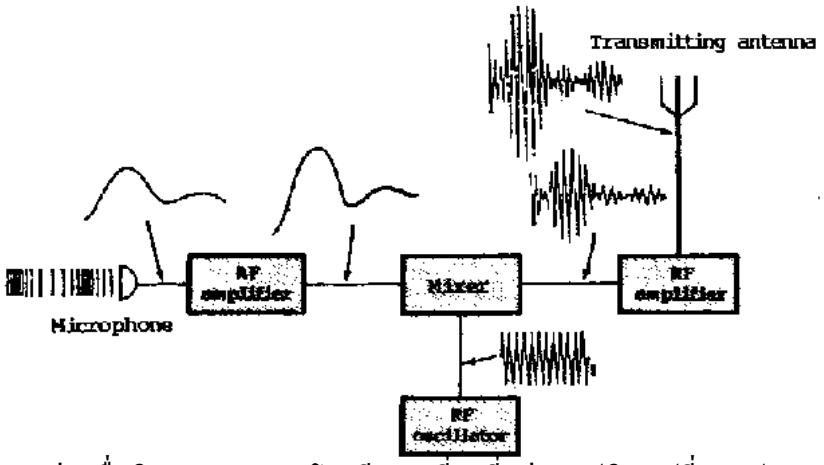
| วิธีการกระจาย | หมายเหตุ | ชนิดคลื่น | ตัวอย่าง |
|---|---|---|---|
| 1. คลื่นส่งโดยตรง | กระจายออกโดยตรงจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง | คลื่นทั่วไป | คลื่นโทรทัศน์และคลื่นสื่อสารไมโครเวฟ(FM) |
| 2 .คลื่นสะท้อนพื้นโลก | อาศัยการสะท้อนของพื้นโลก | | ไม่นิยมใช้ |
| 3. คลื่นเหนือบรรยากาศ | สะท้อนกับชั้นบรรยากาศที่แตกตัวเป็นอิออน | คลื่นสั้น,คลื่นกลาง คลื่นยาว | คลื่นที่ใช้ในการสื่อสารระหว่างประเทศระยะไกลๆ (AM) |
| 4. คลื่นเหนือระดับพื้นโลก | กระจายขนานกับพื้นโลก | คลื่นกลาง,คลื่นยาว | การส่งกระจายเสียงวิทยุ |

ในการส่งสัญญาณคลื่นวิทยุหรือโทรทัศน์ลงไปในคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเราเรียกขบวนการนี้ว่า**การโมดูเลทหรือโมดูเลชั่น** (Modulation) เมื่อคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเคลื่อนที่ถึงปลายทางแล้วจะถูกแยกเอาสัญญาณที่ต้องการออกมาขบวนการแยกสัญญาณคลื่นนี้เรียกว่าการ **ดีโมดูเลท** หรือ **ดีโมดูเลชั่น**

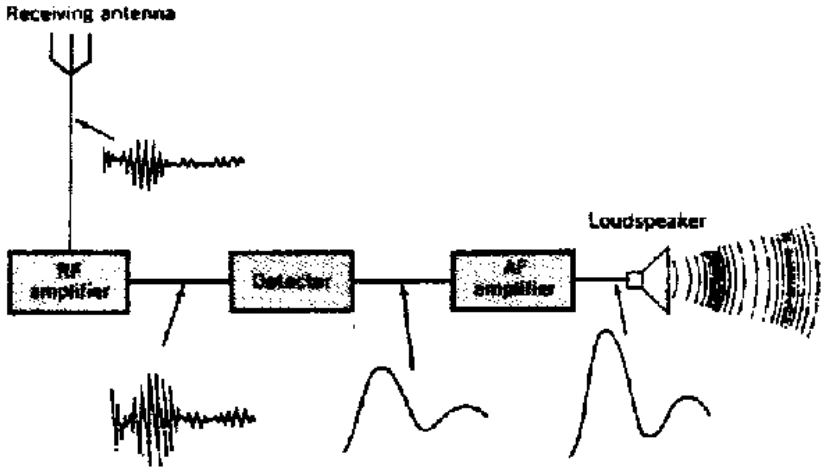
ในการส่งสัญญาณคลื่นวิทยุโดยการใส่คลื่นเสียงลงไปในคลื่นพาหะที่เรียกว่าโมดูเลชั่นนี้ที่นิยมกันมีอยู่ 2วิธี คือ แอมปลิจูดโมดูเลชั่นเขียนย่อๆ ว่า AM (Amplitude Modulation) และความถี่โมดูเลชั่นเขียนย่อๆว่า FM (Frequency Modulation)

โดยปกติคลื่นพาหะที่ถูกส่งออกไปเมื่อยังไม่มีสัญญาณจะมีความถี่เท่ากับความถี่ของคลื่นวิทยุและมีแอมปลิจูดคงที่ แต่พอมีสัญญาณเสียงดัง ค่อยส่งออกมา ดังรูปที่ 16 (a) ได้แก่เสียงที่ออกมาจากไมโครโฟน การส่งคลื่นวิทยุ AMจะมีเครื่องมืออิเล็กทรอนิค (ในรูปคือ Mixer) ทำให้แอมปลิจูดของคลื่นพาหะเปลี่ยนไปตามจังหวะความดังของสัญญาณเสียงดังรูปที่ 16 (a) คือคลื่นที่ออกจาก Mixer หลังจากนั้นก็ถูกส่งออกจากเสาอากาศไปยังเครื่องรับต่างๆจะสังเกตเห็นได้ว่าการส่งสัญญาณคลื่นวิทยุแบบ AM นั้นความถี่จะมีค่าคงที่ แต่แอมปลิจูดจะเปลี่ยนตลอดเวลา

สำหรับการส่งคลื่นวิทยุแบบ FM จะพบว่าเราส่งสัญญาณคลื่นในแบบที่ทำให้คลื่นพาหะมีความถี่เปลี่ยนแปลงไปตามจังหวะของเสียงที่ส่งออกมา ดังนั้นจึงมีความถี่สูงและต่ำสลับกันแต่แอมปลิจูดของคลื่นคงที่ ดังรูปที่ 17

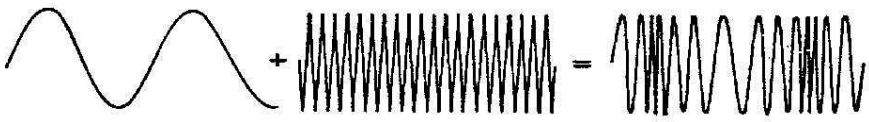



(a) การส่งคลื่นวิทยุแบบ AM โดยมีความถี่คงที่แต่แอมปลิจูดเปลี่ยนแปลงตามสัญญาณเสียง




(b) การรับคลื่นวิทยุ AM ซึ่งมีความถี่คงที่แต่แอมปลิจูดเปลี่ยนแปลงตามสัญญาณเสียง

รูปที่ 16 การส่งและรับสัญญาณคลื่นวิทยุแบบ AM



รูปที่ 17 คลื่นวิทยุแบบ FM เป็นคลื่นที่มีแอมปลิจูดคงที่แต่ความถี่เปลี่ยนแปลงตามสัญญาณเสีย

## 2. รังสีอินฟราเรด

เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นประมาณ $10^{-3}$ - $10^{-6}$ เมตร หรือความถี่ประมาณ $10^{11}$ - $10^{14}$ วัตถุที่ร้อนจะแผ่รังสีอินฟราเรดที่มีความยาวคลื่นสั้นกว่า $10^{-4}$ เมตรออกมา ดังนั้นประสาทสัมผัสทางผิวหนังของมนุษย์จึงสามารถรับรังสีอินฟราเรดได้ โดยปกติสิ่งมีชีวิตจะแผ่รังสีอินฟราเรดออกมาตลอดเวลา สำหรับคุณสมบัติของรังสีอินฟราเรดนี้ สามารถทะลุผ่านเมฆหมอกที่มีความหนาแน่นเกินกว่าที่แสงธรรมดาจะผ่านได้และยังสามารถใช้รังสีนี้ในการถ่ายรูปกับฟิล์มบางชนิดได้ด้วย ดังนั้นการถ่ายภาพจากดาวเทียมจึงใช้รังสีอินฟราเรด นอกจากนี้ยังใช้รังสีอินฟราเรดมาสร้างอุปกรณ์ที่เรียกว่า รีโมทคอนโทรล เป็นตัวนำคำสั่งจากรีโมท คอนโทรลไปยังเครื่องรับ เป็นต้น

## 3. แสง

เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่ประมาณ $10^{4}$ Hz หรือมีความยาวคลื่นอยู่ในช่วง $4\times10^{-7}$ ถึง $7\times10^{-7}$ เมตร สามารถรับรู้ได้ด้วยประสาทตา เมื่อวัตถุได้รับความร้อนอุณหภูมิสูงจะเปล่งออกมาได้ เช่น แสงจากหลอดไฟฟ้า เป็นต้น แสงที่ประสาทตาสามารถรับรู้ได้คือแสงสีม่วง คราม, น้ำเงิน, เขียว, เหลือง, แสด, แดง เมื่อแสงทั้งเจ็ดสีรวมกันจะเห็นเป็นสีขาวเปลวไฟสีแดงจะมีอุณหภูมิต่ำกว่าเปลวไฟสีม่วง ในบางครั้งแสงอาจเกิดได้โดยไม่ต้องใช้ความร้อน เช่น แสงจากจอโทรทัศน์ แสงจากจอโทรทัศน์ แสงจากหลอดเรืองแสง หรือแสงจากหิ่งห้อย ก็ได้

การที่เราไม่ใช้แสงเป็นคลื่นพาหะในการส่งคลื่นวิทยุ เพราะแสงจากวัตถุที่ร้อนจะให้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าออกมาหลายความยาวคลื่น แต่ในปัจจุบันเราสามารถสร้างเครื่องกำเนิดแสงเลเซอร์เพื่อใช้ในการส่งสัญญาณเสียงและภาพได้ซึ่งนับว่ามีประโยชน์มากในวงการแพทย์

## 4.รังสีอัลตราไวโอเลต

เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่สูงกว่าแสง โดยมีความถี่อยู่ในช่วง $10^{15}$ ถึง $10^{18}$ Hz ส่วนใหญ่เกิดจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์และรังสีนี้เป็นตัวการทำให้เกิดประจุอิสระและอิออนในบรรยากาศชั้นไอโอโนสเฟียร์เพราะรังสีอุลตาไวโอเลตมีพลังงานพอเหมาะที่จะไปชนให้อิเล็กตรอนหลุดจากโมเลกุลจากโมเลกุลของอากาศ รังสีอัลตราไวโอเลตเคลื่อนที่ทะลุผ่านสิ่งดีดขวางหนาๆ ได้ แต่สามารถทำให้เชื้อโรคบางชนิดตายได้ ในวงการแพทย์จึงใช้รังสีอัลตราไวโอเลตรักษาโรคเกี่ยวกับผิวหนัง รังสีอัลตราไวโอเลตมากอาจทำให้เกดอันตรายต่อผิวหนังและตาคนได้ แต่เนื่องจากบรรยากาศรอบๆ โลกดูดกลืนรังสีอุลตราไวโดเลตไปบางส่วนและทำให้แสงอาทิตย์ที่พื้นผิวโลก มีรังสีอุลตราไวโอเลตในปริมาณที่ปลอดภัยต่อสิ่งมีชีวิตเราสามารถทำให้เกิดรังสีอุลตราไวโอเลตได้โดยผ่านกระแสไฟฟ้าไปในหลอดที่บรรจุไอปรอทไว้ไอปรอทจะรับพลังงานจากอิเล็กตรอนของกระแสไฟฟ้า แล้วปลดปล่อยรัวสีอัลตราไวโอเลตออกมาพร้อมกับรังสีสีม่วงจางๆ รังสีอัลตราไวโอเลตทะลุผ่านแก้วได้บ้างเล็กน้อย แต่ผ่านควอตซ์ได้ดีดังนั้นหลอดรังสีอัลตราไวโอเลตจึงทำด้วยควอตซ์ ในหลอดเรืองแสงจะมีไอปรอทบรรจุอยู่ภายในเมื่อมีกระแสไฟฟ้าผ่านจะทำให้เกิดรังสีอุลตราไวโอเลต แต่สิ่งที่ต้องการคือ แสงขาวจึงฉาบสารเรืองแสงไว้ที่ผิวในของหลอด เมื่อรังสีอัลตราไวโอเลตกระทบก็ถ่ายพลังงานให้สารเรืองแสง และสารเรืองแสงนี้จะแผ่แสงสว่างออกมาอีกทอดหนึ่ง ส่วนรังสีอัลตราไวโอเลตจะถูกแก้วขวางไว้ไม่ให้ออกมานอกหลอด นอกจากการเชื่อมโลหะด้วยไฟฟ้ายังทำให้เกิดรังสีอุลตราไวโอเลตความเข็มสูง ในปริมาณซึ่งเป็นอันตรายต่อนัยน์ตา จึงจำเป็นต้องสวมแว่นกันโดยเฉพาะ

## 5. รังสีเอกซ์

เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่อยู่ในช่วง $10^{16}$- $10^{22}$ เฮิรตซ์หรือความยาวคลื่นอยู่ระหว่าง $10^{-8}$- $10^{13}$เมตรมักเรียกรวมกันว่า รังสีเอกการผลิตรังสีเอกซ์วิธีหนึ่งใช้หลักการเปลี่ยนความเร็วของอิเล็กตรอน ส่วนวิธีอื่นๆจะได้กล่าวถึงในบทต่อไป

รังสีเอกซ์สามารถเคลื่อนที่ทะลุผ่านสิ่งกีดขวางหนาๆได้ ดังนั้นในทางอุตสาหกรรมจึงใช้รังสีเอกซ์ตรวจหารอยร้าวภายในชิ้นส่วนโลหะขนาดใหญ่ เจ้าหน้าที่ด่านตรวจใช้รังสีเอกซ์ตรวจหาอาวุธปืนหรือระเบิดในกระเป๋าเดินทางโดยไม่ต้องเปิดกระเป๋า ทั้งนี้โดยอาศัยหลักที่ว่ารังสีเอกซ์จะถูกกั้นโดยอะตอมของธาตุหนักได้ดีกว่าธาตุเบา แพทย์ใช้รังสีเอกซ์ฉายผ่านร่างกายมนุษย์ไปตกบนฟิล์ม เพื่อตรวจดูลักษณะผิดปกติของอวัยวะภายในและกระดูก เมื่อให้รังสีเอกซ์ที่มีความยาวประมาณ $10^{-10}$ เมตร ซึ่งเป็นขนาดที่ใกล้เคียงกับขนาดของอะตอมและระยะห่างระหว่างอะตอมของผลึก ผ่านก้อนผลึก อะตอมที่

จัดเรียงตัวกันอย่างมีระเบียบในก้อนผลึกจะทำรังสีเอกซ์เลี้ยวเบนอย่างมีระเบียบเช่นเดียวกับเมื่อผ่านเกรตติง เมื่อศึกษาลักษณะการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ ก็จะสามารถคำนวณหาระยะห่างระหว่างอะตอมและวิธีการจัดเรียงตัวของอะตอมทำให้ทราบโครงสร้างของผลึกแต่ละชนิดได้

## 6. รังสีแกมมา

รังสีแกมมาเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่สูงกว่ารังสีเอกซ์ แต่เดิมคำว่ารังสีแกมมาใช้เรียกชื่อคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าความถี่สูงที่เกิดจากการสลายตัวของนิวเคลียสของธาตุกัมมันตรังสี แต่ในปัจจุบันคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่สูงกว่ารังสีเอกซ์ทั่วไปแล้วจะเรียกว่ารังสีแกมมาทั้งนั้น รังสีแกมมาที่มิได้เกิดจากการสลายตัวของธาตุกัมมันตรังสี เช่น รังสีคอสมิกซึ่งมาจากนอกโลกเป็นรังสีแกมมาหรือการแผ่รังสีของอานุภาคประจุไฟฟ้าที่ถูกเร่งในเครื่องเร่งอนุภาคทำให้เกิดรังสีแกมมาได้เช่นกัน

***ตัวอย่างที่ 1*** วงจรนูนประกอบด้วยตัวเหนี่ยวนำตัวหนึ่งมีค่าเหนี่ยวนำ 10 ไมโครเฮนรี่ และตัวเก็บประจุตัวหนึ่งมีค่าความจุ 30 ไมโครฟารัดต่อกันอย่างขนาน จงคำนวณค่าความถี่ธรรมชาติของวงจรนูนนี้เป็นหน่วยกิโลเฮิรตซ์

**วิธีทำ** จาก $f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$

จากโจทย์ $L = 10\times10^{-6}$

$C = 30\times10^{-6}$

$\therefore$ แทนค่า $f = \frac{1}{2\pi\sqrt{10\times10^{-6}\times30\times10^{-6}}}$

$f = \frac{1}{2\times\frac{22}{7}\times10^{-5}\sqrt{3}}$

$f = 9.18\times10^{3}$ Hz $= 9.18$ กิโลเฮิรตซ์ *ตอบ*

***ตัวอย่างที่ 2*** สถานีวิทยุกระจายเสียงด้วยความถี่ $1.02\times10^{8}$ Hz จงหาวามยาวคลื่นวิทยุนี้ถ้าอัตราเร็วคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเท่ากับ $3\times10^{8}$ m/s และจะต้องติดตั้งเสาอากาศที่มีความยาวสั้นที่สุดเท่าใดเพื่อที่จะรับคลื่นนี้

**วิธีทำ** จาก $\lambda = \frac{v}{f}$

จากโจทย์ $v = 3\times10^{8}$ m/s , $f = 1.02\times10^{8}$ Hz

$\therefore$ แทนค่า $\lambda = \frac{3\times10^{8}}{1.02\times10^{8}} = 2.94$ m

$\therefore$ ความยาวของเสาอากาศสั้นที่สุด $= \frac{\lambda}{2} = \frac{2.94}{2} = 1.47$ m *ตอบ*

***ตัวอย่างที่ 3*** คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งมีความยาวคลื่น (ก) $\lambda =$ 0.1 นาโนเมตร (ข) 6 ซม. จะเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแบบใด และ ความถี่เท่าใด

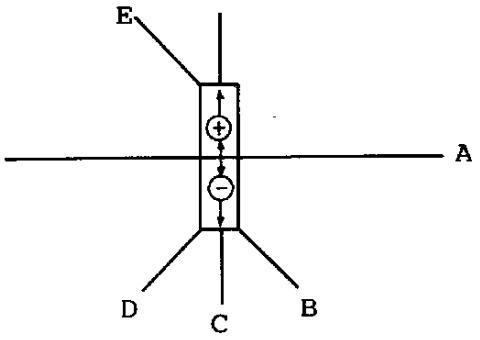
วิธีทำ $\because$ อัตราเร็วคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า $= 3\times10^{8}$ m/s

จาก $f = \frac{v}{\lambda}$

ถ้า $\lambda = 0.1\times10^{-9}$ เมตร ; $f = \frac{3\times10^{8}}{0.1\times10^{-9}} = 3\times10^{8}$ Hz เป็นคลื่นรังสีเอกซ์

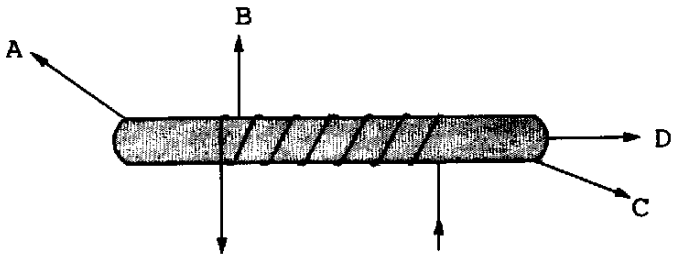
ถ้า $\lambda = 6\times10^{-2}$ เมตร ; $f = \frac{3x10^{8}}{6x10^{-2}} = 5\times10^{9}$ Hz เป็นคลื่นไมโครเวฟ

***ตัวอย่างที่ 4*** หากมีประจุเคลื่อนที่กลับไปกลับมาคู่หนึ่งในตัวนำดังรูป ตามทฤษฎีของแมกซ์เวลส์ประจุคู่นี้จะแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าออกมาแต่มีแนวหนึ่งที่จะไม่มีคลื่นแผ่ออกมาเลยแนวนั้นคือแนวไหน




**วิธีทำ** ประจุเคลื่อนที่กลับไปกลับมาในแนว C จะทำให้แผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ารอบแนว C ดังนั้นจุด A,B,D และ E จะมีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแผ่ไปถึง แต่จุด C จะไม่มีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเลย

***ตัวอย่างที่ 5*** ขดลวดที่พันรอบแกนเหล็กเฟอร์ไรท์ในเครื่องรับวิทยุทำหน้าที่เป็นสายอากาศด้วย จากความรู้เกี่ยวกับคลื่นวิทยุ สถานีส่งอยู่ในทิศใดที่ทำให้วิทยุเงียบ คือได้รับสัญญาณน้อยที่สุด




**วิธีทำ** ขดลวดดังรูป จะรับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้เฉพาะสนามแม่เหล็กเพียงอย่างเดียวเท่านั้น และทิศการเปลี่ยนสนามแม่ เหล็กจะต้องตั้งฉากกับระนาบลวด ดังนั้นถ้าสถานีส่งอยู่ในทิศ D จะได้เปลี่ยนแปลงสนามแม่เหล็กอยู่ในระนาบเดียวกับลวดขดลวดก็จะไม่สามารถรับคลื่นได้

---