

บทที่ 13

โพลาริเมตรี เชอร์คูลา ไดกรอยซึม และ อปติกัล โรตาเตอริคิลิสเพอร์ชัน

(Polarimetry Circular Dichroism and Optical Rotatory Dispersion)

กัมมันตภาพเชิงแสงเป็นการวัดความสามารถของสารที่หมุนแสงโพลาไรส์เชิงระนาบ ในปี 1811 มีผู้ศึกษาความสามารถในการหมุนแสงโพลาไรส์เชิงระนาบของคราว์ตซ์ กลางคตัวรรช. 19 มีการศึกษากัมมันตภาพเชิงแสงมาก ต่อมามีผู้นำความรู้ไปพัฒนาสเตอริโอดิมิสทรีของสารอินทรีย์และโครงสร้าง อันตรกิริยาของรังสีกับสารที่ทำให้เกิดการหมุนของแสงโพลาไรส์ไม่ค่อยมีผู้เข้าใจเหมือนกับกระบวนการดูดกลืน การเปล่งรังสีหรือ นิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์ โพลาริเมตรเป็นการศึกษาการหมุนของแสงโพลาไรส์โดยสารโปร่งใส (transparent substance) ที่ศักดิ์สิทธิ์และขนาดการหมุน (optical rotatory power) ใช้ประโยชน์ในการทำคุณภาพและปริมาณวิเคราะห์ และยังใช้ศึกษาโครงสร้างของสารเคมี

ตอนกลางปี 1950 มีผู้ประดิษฐ์ไฟโตเมตริกสเปกโตรโพลาริมิเตอร์ที่ใช้กับรังสีวิสิเบิลและอัลตราไวโอเลต อุปกรณ์นี้ใช้ศึกษาความยาวคลื่นที่มีผลต่อการหมุนแสง (optical rotation หรือ optical rotatory dispersion) อุปกรณ์นี้ยังใช้ศึกษาโครงสร้างโมเลกุลของสารเชิงช้อน อุปกรณ์อีกแบบหนึ่งที่ใช้หลักการดูดกลืนรังสีกับสาร เรียกเชอร์คูลาร์ไดกรอยซึม (circular dichroism) อุปกรณ์นี้ใช้ศึกษาผลต่างการดูดกลืนรังสีโพลาไรส์ของเชอร์คูลาร์โพลาไรส์ \pm และ \mp เมื่อเปลี่ยนความยาวคลื่น อุปกรณ์นี้ยังใช้ศึกษาโครงสร้างของสารอปติกัลแอคทีฟ (สารกัมมันตภาพเชิงแสง)

การส่งผ่านและการหักเหของรังสีระนาบโพลาไรส์

(Transmission and Refraction of Plane Polarized Radiation)

ของเหลวและแก๊สเนื้อเดียวกันยอมให้รังสีผ่านด้วยความเร็วเท่ากันทุกทิศทาง สารเหล่านี้เรียกอ่อนปติกัลไอโซทรอปิก (optically isotropic) ของแข็งที่เป็นผลึกฐานปฏิกักษ์

ของแก้วและพอลีเมอร์หลายชนิดเป็นสารออบปติกัลลีไอโซทรอปิก สารพากออบปติกัลลีไอโซทรอปิกไม่เกิดการโพลาไรซ์ของรังสี ผลึกที่ไม่เป็นรูปลูกบาศก์เป็นสารพากออบปติกัลลีแอนไโซทรอปิก (optically anisotropic) สารนี้ยอมให้รังสีผ่านออกม่าด้วยความเร็วต่างกัน ความเร็วนี้ขึ้นกับการจัดตัวของผลึก ผลึกแอนไโซทรอปิกจะต้องตัวอยู่ในผลึกไม่เป็นระเบียบ สนามไฟฟ้าที่เกิดจากลำรังสีผ่านผลึกแปรไปกับทิศทางการจัดตัวของผลึก

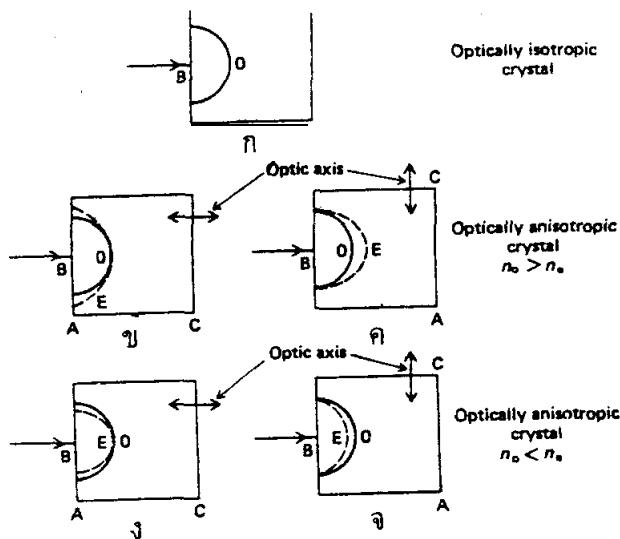
การส่งผ่านของรังสีโดยผลึกออบปติกัลลีแอนไโซทรอปิก

(Transmission of Radiation by Optically Anisotropic Crystal)

เมื่อลำรังสีที่ไม่โพลาไรซ์ และมีความยาวคลื่นเดียว ชนิดของตัวกลางโปร่งใส (Transparent medium) ที่เป็นผลึกไอโซทรอปิก (เช่น โซเดียมคลอไรด์) โดยมีมุนตากเป็นมุนจากกับผิวผลึก รังสีจะลดความเร็วขณะผ่านตัวกลางที่มีอัตราการสูญเสียความเร็วต่ำกว่าตัวกลาง ทำให้เกิดการโพลาไรซ์ชั่วขณะ รังสีจะเปล่งออกมหาลังจากเวลาผ่านไป 10^{-14} ถึง 10^{-15} วินาที ขณะที่อนุภาคที่ถูกโพลาไรซ์กลับสู่สถานะพื้น รังสีจะกระจายออกจากจุดที่มีอัตราการสูญเสียความเร็วต่ำกว่าตัวกลาง ดังรูป 13-1 (ก) แต่ถ้ารังสีชนผิวผลึกของผลึกแอนไโซทรอปิกโดยมีมุนตากเป็นมุนจากกับผิวผลึก รังสีจะกระจายออกจากจุดที่มีอัตราการสูญเสียความเร็วต่ำกว่าตัวกลางเป็นสองชุด ชุดหนึ่งกระจายออกมารูปวงรี (ellipsoidal) E ดังรูป 13-1 (ข) และ 13-1 (ค) รังสีรูปวงรีหรือรังสีธรรมด้า (ordinary ray) O จะเดินทางด้วยความเร็วเท่ากันทุกทิศทาง ส่วนรูป 13-1 (ง) และ (จ) รังสีรูปวงรีหรือรังสีผิดธรรมด้า (extra ordinary ray) จะเดินทางในผลึกแอนไโซทรอปิกด้วยอัตราเร็วซึ่งกันว่าอีกทิศทางหนึ่ง

ผลึกแอนไโซทรอปิก (Anisotropic crystal) จะมีแกนหนึ่งแกนที่ล้ำรังสี O และ E เดินทางด้วยความเร็วเท่ากัน แกนนี้เรียกว่าแกนแสง (optic axis) รูป 13-1 (ข) ถึง 13-1 (จ) หน้าคลื่นของหั้งสองล้ำรังสีจะหักกันสนิทบนแกนแสง ส่วนในทิศทางอื่นหน้าคลื่นของล้ำรังสี O และ E จะเดินทางแยกกัน

การหักเหสองครั้งโดยผลึกแอนไโซทรอปิก (Double Refraction by Anisotropic Crystal) ในผลึกแอนไโซทรอปิกธรรมนูนหักเหของล้ำรังสีขึ้นกับทิศทางการจัดตัวของผลึก และจะมีค่าเท่ากับล้ำรังสี O ตามแกนแสง ธรรมนูนหักเหจะเปลี่ยนไปอย่างต่อเนื่องจนมีค่าสูงสุดหรือลดลงตามที่ตั้งฉากกับแกนแสง ธรรมนูนหักเหของล้ำรังสี E จึงเขียน



รูป 13-1 การแพร่ของรังสีที่มีความยาวคลื่นเดียวและในโพลาไรส์ในผลึกไอโซทรอปิกและแอนไอโซทรอปิก

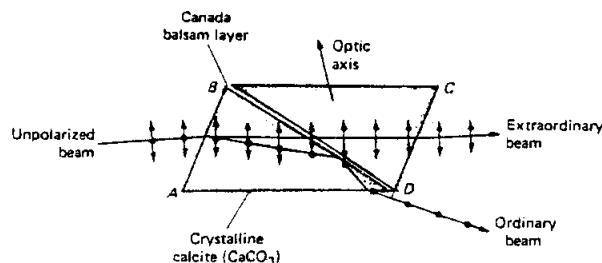
- (ก) ผลึกไอโซทรอปิก
- (ข) และ (ก) รังสี O เดินทางช้ากว่ารังสี E
- (ง) และ (จ) รังสี O เดินทางเร็วกว่ารังสี E

ในทอมที่ตั้งจากกับแกนแสง ตาราง 13-1 ค่าครรชนีหักเหลำรังสี η_o กับค่าครรชนีหักเหของลำรังสี η_e ในผลึกแอนไอโซทรอปิกบางชนิดลำรังสี E ในตัวกลางแคลไซด์เดินทางเร็วกว่าลำรังสี O ในตัวกลางน้ำแข็งลำรังสี E เดินทางช้ากว่าลำรังสี O ผลึกแอนไอโซทรอปิก มีค่าครรชนีหักเหสองค่าต่างกัน ผลึกจึงสามารถหักเหลำรังสี O และ E ออกที่มุ่มต่างกัน ผลึกแอนไอโซทรอปิกจึงมีสมบัติการหักเหสองครั้ง (double refraction) คุณสมบัตินี้ใช้แยกลำรังสีที่ไม่โพลาไรส์เป็นสองลำรังสีที่มีระนาบโพลาไรส์ที่มุ่ม 90 องศากับอีกระนาบที่นิ่ง

ตาราง 13-1 ค่าครรชนีหักเหของผลึกแอนไอโซทรอปิก

ผลึก	η_o	η_e
แคลไซด์	1.6583	1.4864
ควอร์ตซ์	1.544	1.533
น้ำแข็ง	1.306	1.307

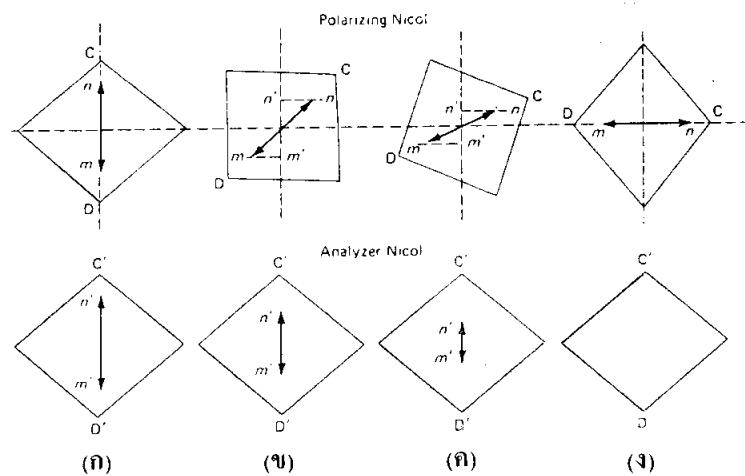
นิกอลปริซึม (Nicol Prism) นิกอลปริซึมใช้ผลิตรังสีระนาบโพลาไรส์ (plane polarized radiation) และใช้มีการหักเหแสงสองครั้งจึงใช้ทำนิกอลปริซึม นิกอลปริซึมทำโดยขลิบปลายทั้งสองของผลึกน้ำให้มีมุม 68 องศา ดังรูป 13-2 แล้วตัดผลึกตามเส้นที่แยกมุมด้านล่างแล้วใส่สารโปร่งใสที่มีค่า refractive index หักเหอยู่ระหว่างค่า refractive index หักเหของผลึกแคลไซด์ 1.4864 กับ 1.6583 ลงไประหว่างผลึกทั้งสองอัน ชั้นนี้เรียกว่า ยางไส้หอมแคนาดา (canada balsam) ชั้นนี้ทำหน้าที่สะท้อนรังสีธรรมชาติ (O) ที่มีค่า refractive index มากออกไปทั้งหมดและยอม



รูป 13-2 นิกอลปริซึมที่ใช้แยกลำรังสีที่ไม่ถูกโพลาไรส์เป็นสองลำรังสีระนาบโพลาไรส์โดยทำมุม 90 องศากับอีกรายาง

ให้รังสีผิดธรรมชาติ (E) ผ่านออกมาระหว่างไม่มีการเปลี่ยนแปลง ถ้าตัวกลางไม่มีผลต่อการดูดกลืนรังสี ความเข้มรังสีที่ออกมามีค่าเป็นครึ่งหนึ่งของลำรังสีที่ชน การวัดการหมุนของแสงระนาบโพลาไรส์ (plane polarized light) ใช้นิกอลปริซึมคู่หนึ่ง ปริซึมอันที่หนึ่งทำหน้าที่ผลิตลำแสงโพลาไรส์แบบผิดธรรมชาติ และให้ผ่านตัวกลางที่ต้องการศึกษา ปริซึมอันที่สองทำหน้าที่เป็นปริซึมตัววิเคราะห์ (analyzer prism) การหมุนแสงโพลาไรส์โดยสารที่ศึกษา ถ้านิกอลปริซึมสองอันจัดอยู่ในแนวเดียวกันกับลำแสงและสารที่ต้องการศึกษาไม่มีการดูดกลืนแสงผิดธรรมชาติ แสงที่ออกจากปริซึมตัววิเคราะห์จะมีความเข้มเพียงร้อยละ 50 ของปริมาณแสงตอนเริ่มต้น ดังรูป 13-3

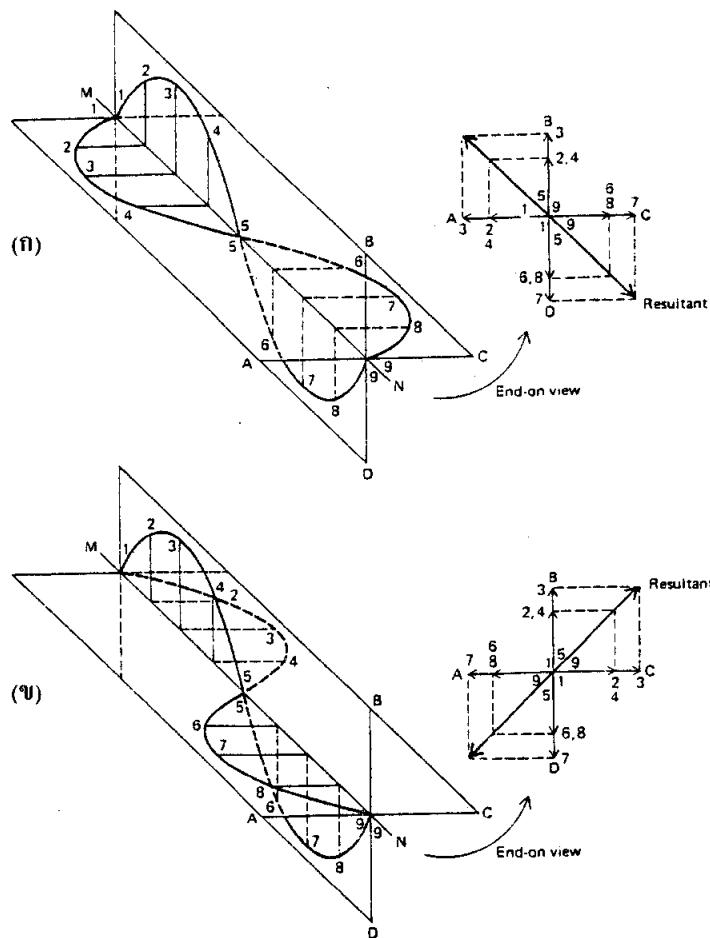
เมื่อหมุนตัวทำแสงโพลาไรส์ ปริมาณแสงในแนวตั้ง $m n$ จะเหลือเพียงบางส่วน ($m' n'$) ที่ออกมายกตัวทำแสงโพลาไรส์ ปริมาณแสงในแนวราบ (แสง O) ไม่มีผลกระทบต่อแสงที่หักเหออกโดยชั้นยางไส้หอมแคนาดา ปริมาณแสงที่ได้จากปริซึมตัววิเคราะห์จะมีค่าน้อยกว่าร้อยละ 50 เมื่อหมุนตัวทำแสงโพลาไรส์ 90 องศา ไม่มีปริมาณแสง $m' n'$ ปริมาณแสงที่ได้จากปริซึมตัววิเคราะห์จะเป็น O ถ้าสารที่ศึกษามีผลต่อการหมุนแสงและคงอยู่ระหว่างนิกอลปริซึมสองอัน ปริมาณแสงที่ออกมายกจะเปลี่ยนไปเนื่องจากกำลังการหมุนแสงของสารที่ต้องการศึกษา



รูป 13-3 ภาพนิยลบริชั่นทัวทำแสงโพลาไรส์และตัววิเคราะห์ mn แทนเวกเตอร์ไฟฟ้าของลำแสงที่ออกจากตัวทำแสงโพลาไรส์ m', n' แทนเวกเตอร์ไฟฟ้าของลำแสงที่ออกจากตัวทำแสงโพลาไรส์และตัววิเคราะห์

ปรากฏการณ์การแทรกสอดของรังสีโพลาไรส์ (Interference Effects with Polarized Radiation)

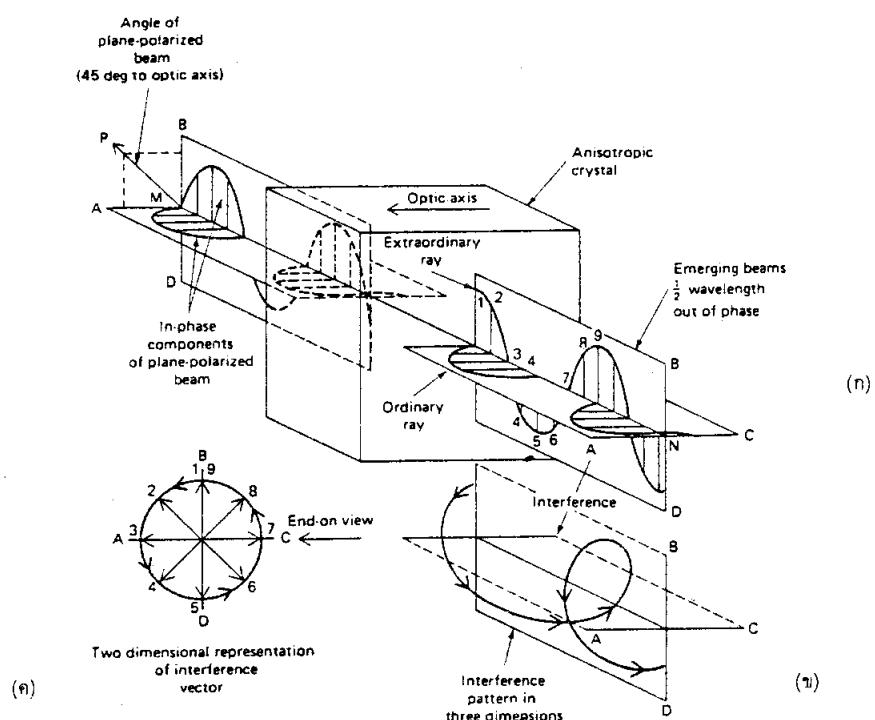
การแทรกสอดระหว่างรังสีโพลาไรส์เกิดจากลำรังสี相干 (coherent) กัน ปรากฏการณ์ของการแทรกสอด ดูได้จากการรวมเวกเตอร์ของรังสีเหล็กไฟฟ้าของแต่ละลำรังสี ดังรูป 13-4 (ก) เป็นปรากฏการณ์การแทรกสอดระหว่างสองสองระบบโพลาไรส์ที่มีแอม-พลิจูดเท่ากันและอยู่ในเฟสเดียวกัน แต่เวกเตอร์ทั้งสองตั้งฉากซึ่งกันและกัน การรวมกันของเวกเตอร์ไฟฟ้าของสองลำรังสีได้รูป平行ขวา แต่ลักษณะที่อยู่บนแกน MN จะไปบนระบบ ABMN ที่ตั้งฉากกับ MN ได้ผลลัพธ์ของลำรังสีทั้งสองเป็นแบบสองมิติ เวกเตอร์รวมสั้นในระบบที่ทำมุม 45 องศากับระบบของลำรังสีทั้งสอง การแทรกสอดให้ลำรังสีระบบโพลาไรส์เพียงอันเดียว (plane polarized) รูป 13-4 (ข) เป็นการแทรกสอดระหว่างลำรังสีระบบโพลาไรส์ที่มีความยาวคลื่นต่างกันครึ่งความยาวคลื่น (180 องศา) คลื่นอยู่ในเฟสเดียวกัน ผลรวมของลำรังสีระบบโพลาไรส์ที่ได้ตั้งฉากกับรูป 13-4 (ก)



รูป 13-4 การแทรกสอดระหว่างสองลำรังสีระนาบโพลาไรส์ที่อยู่ในไฟฟ์เดียวกัน

รังสีเชอร์คุลาร์ลีและอิลิพิกลีโพลาไรส์ (circularly and elliptically polarized radiation) เมื่อต้องการดูลำรังสีระนาบโพลาไรส์ของรังสีที่มีความยาวคลื่นเดียวผ่านเพล็กแอนโซไซโตรบิกดูได้จากรูป 13-5 (ก) ลำรังสีชนสารตัวอย่างทิศทางตั้ง - ฉากกับแกนแสงของเพล็ก รังสีระนาบโพลาไรส์ทำมุม 45 องศากับแกนนี้ (มุมของระนาบโพลาไรส์แทนด้วยลูกศร MP) รังสีระนาบโพลาไรส์เกิดจากสองลำรังสีที่อาพาณธ์กัน และตั้งฉากกันตามแนวแกน MA และ MB เมื่อรังสีระนาบโพลาไรส์ชนเพล็ก ลำรังสีทิศทาง MA เดินทางเข้าสู่เพล็กด้วยความเร็วคงที่ (ธรรมชาติ) เพราะรังสีในแนวนี้เดินทางไปในแนวแกนแสงของเพล็ก ลำรังสีทิศทาง MB เดินทางด้วยความเร็วต่างไป (ผิดธรรมชาติ) เนื่อง

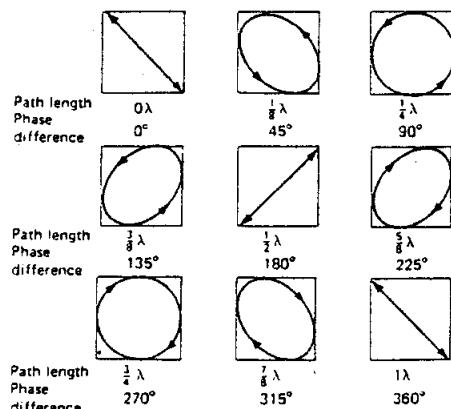
จากลำรังสีมีความเร็วในผลึกต่างกันจึงแทรกสอดไม่ได้ เพราะลำรังสีทั้งสองไม่อพาพันธ์กัน เมื่อลำรังสีทั้งสองนี้ออกจากผลึกสู่ตัวกลาง ไอโซกรอปิก ความเร็วของลำรังสีทั้งสองจะมีค่าเท่ากันอีกครั้งหนึ่ง จึงเกิดการแทรกสอดเพราะรังสีอพาพันธ์กัน ผลรวมของลำรังสีทั้งสองนี้ขึ้นกับเฟสของลำรังสีทั้งสอง ความสัมพันธ์ของเฟสหาได้จากความเร็ว สัมพัทธ์ของสองลำรังสีในตัวกลางและทางเดินของสองลำรังสี ถ้าสองลำรังสีอยู่ในเฟสเดียวกันอีกครั้ง จะเกิดการแทรกสอดกัน ดังรูป 13-4 (ก) ผลรวมของลำรังสีจะโพลาไรส์ ที่มุมเดียวกันกับลำรังสีที่เข้าไป ถ้าผลึกนี้ทำให้สองลำรังสีที่ออกมามีเฟสต่างไป 180 องศา (ครึ่งความยาวคลื่น) การแทรกสอดของลำรังสีจะได้รูป 13-4 (ข) ระนาบของลำรังสีที่ออกมากำมุ 90 องศา กับลำรังสีที่เข้าไป



รูป 13-5 รังสีเชอร์คุลาร์ดิโพลาไรส์ที่ได้จากผลึกแอนไอโซกรอปิก

รูป 13-5 (ก) ถ้าคลื่นรังสีที่ออกมามีเป็นเศษ 1 ส่วน 4 ของความยาวคลื่น (90 องศา) และอยู่คู่คละเฟสในผลึกนี้จะไม่มีการแทรกสอด เมื่อคลื่นทั้งสองออกจากผลึกสู่ตัวกลางอาจกาคคลื่นทั้งสองจะเกิดอันตรกิริยากัน เวกเตอร์ไฟฟ้าที่ได้จากการรวมคลื่นทั้งสองมีทิศทาง

การเดินทางเป็นแบบเกลียวส่วน (helical) ดังรูป 13-5 (ข) ถ้านำผลรวมของเวกเตอร์มา พล็อตจะได้เพียงสองมิติ สำรังสีเดิมเป็นสำรังสีโพลาไรส์แบบเส้น เวกเตอร์อยู่ในระนาบ (plane) เดียว (MP) ส่วนสำรังสีที่ได้จากผลึกแอนไโอโซทรอปิกเป็นแบบเกลียวส่วน (helical beam) หรือแสงเซอร์คูลาร์ล็อโพลาไรส์ (circularly polarized light) ถ้าสองคลื่นต่างกันเช่น หนึ่งส่วนสี่ความยาวคลื่นและอีกหนึ่งส่วนสี่ความยาวคลื่นจะเป็นแบบทวนเข็ม นาฬิกา (levorotatory) มากกว่าตามเข็มนาฬิกา (dextrorotatory)



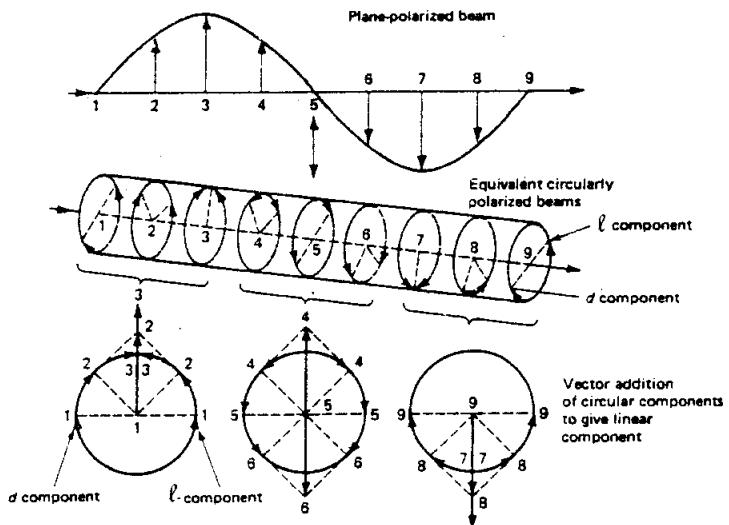
รูป 13-6 ผลของผลึกแอนไโอโซทรอปิกที่มีต่อสำรังสีระนาบโพลาไรส์ ภาพเพื่อประกอบแทนทางเดินรังสีที่มีค่าต่างกัน ในผลึก

สำรังสีที่ออกจากผลึกแอนไโอโซทรอปิกเมื่อเฟสต่างกัน 0, 180 และ 360 องศา เวกเตอร์รวมของทางเดินรังสีจะเป็นแบบเส้นตรง ส่วนสำรังสีที่ออกจากผลึกแอนไโอโซทรอปิกเมื่อ มีเฟสต่างกัน 90 และ 270 องศา เวกเตอร์รวมของทางเดินรังสีเป็นแบบวงกลม ส่วนสำรังสีที่ออกจากผลึกแอนไโอโซทรอปิกเมื่อมีเฟสต่างกัน 45, 135, 225 และ 315 องศา เวกเตอร์รวมของทางเดินรังสีเป็นวงรี (elliptically) สำรังสีที่ได้จากผลึกนี้เป็นสำรังสีระนาบโพลาไรส์ ดังรูป 13-6

ผลึกแอนไโอโซทรอปิกที่มีความยาวเหมาะสมใช้ผลิตรังสีโพลาไรส์แบบวงกลม (circularly polarized light) ผลึกเหล่านี้เรียกเช่นหนึ่งส่วนสี่แผ่นคลื่น (quarter wave plate) ใช้ในการศึกษาเซอร์คูลาร์ไดครอยซ์ม (circular dichroism)

ความสัมพันธ์ระหว่างรังสีระนาบโพลาไรส์กับรังสีเซอร์คูลาร์ล็อโพลาไรส์ (Relationship between plane polarized and circularly polarized radiation) รังสีระนาบโพลาไรส์สามารถเกิด

ได้จากการรวมกันของสองลำรังสีที่วงเป็นวงกลม (circularly) และมีแอมพลิจูดเท่ากัน แต่หมุนในทิศทางตรงกันข้าม ดังรูป 13-7 เวลาเดอร์ของรังสีที่เป็นวงกลม d (dextrorotatory) และ l (levorotatory) จะรวมกันได้เวลาเดอร์รวมของลำรังสีระนาบโพลาไรส์ (plane polarized beam) d หมุนตามเข็มนาฬิกาเมื่อผ่านแก้วการหมุน และ l (levorotatory) หมุนทวนเข็มนาฬิกา



รูป 13-7 ลำรังสีระนาบโพลาไรส์มีสองลำรังสีเชอร์คูลาร์โพลาไรส์ (d, l)

เชอร์คูลาร์ดับเบิลเรfraction (Circular Double Refraction)

การหมุนของแสงระนาบโพลาไรส์ (plane polarized light) โดยสารที่หมุนแสงได้ (กัมมันตภาพเชิงแสง) (optically active) อาศัยได้โดยสมมติว่าอัตราการแพร่ของแสงเชอร์คูลาร์ d และ l ของลำรังสีระนาบโพลาไรส์มีค่าต่างกันเมื่ออยู่ในสปีชีส์ ธรรมนิหักเหของสารที่มีต่อแสง d(η_d) มีค่าต่างจาก l(η_l) สารที่มีสมบัติกัมมันตภาพเชิงแสง (optically active) เป็นพากแอนไโอโซทรอปิก จะแสดงเชอร์คูลาร์ดับเบิลเรfraction สารที่เป็นผลึกแอนไโอโซทรอปิกจะทำให้แสง d และ l ไม่อាមัธกัน จึงไม่เกิดการแทรกสอดกันกระทั้ง ลำรังสีนี้ออกจากผลึกสู่ตัวกลางไโอโซทรอปิกจึงเกิดการแทรกสอดกันอีกครั้ง

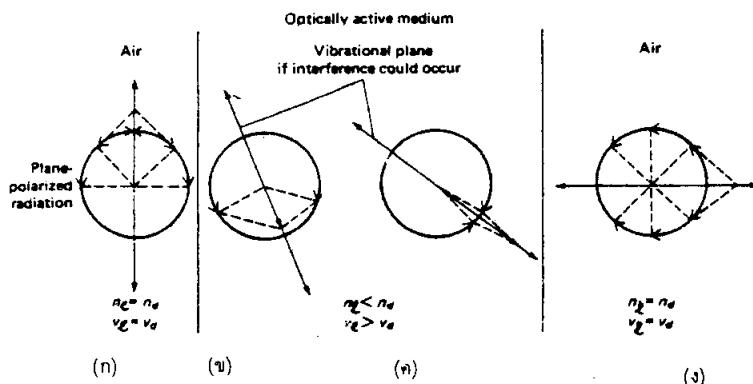
รูป 13-8 การหมุนของลำรังสีโดยสารที่มีสมบัติกัมมันตภาพเชิงแสง รูป 13-8 (ก) ลำรังสีเกิดการโพลาไรส์ในแนวเดียว รังสีเชอร์คูลาร์ d และ l หมุนด้วยความเร็วเท่ากัน เมื่อลำรังสีนี้ผ่านเข้าผลึกแอนไโอโซทรอปิก อัตราการแพร่ของรังสี d มากกว่า l เพราะว่า

$\eta_d > \eta_l$ รูป 13-8 (ข) เมื่อลำรังสีผ่านตัวกลางไประยะหนึ่งแล้วเวกเตอร์ d เดินทางช้ากว่า l สองลำรังสีอาจเกิดการแทรกสอดกันได้เมื่อออกรจากตัวกลางแอนไโอโซทรอปิกสู่ตัวกลางไโอโซทรอปิก ผลรวมของรังสี d และ l จะเบี่ยงเบนไปจากแนวเดิม ดังรูป 13-8 (ค) รังสี d ถูกห้ามไว้ขณะที่อยู่ในตัวกลางแอนไโอโซทรอปิก เมื่อออกรสู่ตัวกลางไโอโซทรอปิกแสง d และ l มีความเร็วเท่ากันจะเกิดการแทรกสอดกัน ได้ผลรวมของลำรังสีทั้งสองที่ออกมามีเฟสเปลี่ยนไป แล้วลำรังสีรวมตั้งฉากกับลำรังสีเดิม ดังรูป 13-8 (ง)

ปริมาณวิเคราะห์ (Quantitative Analysis) สารที่มีสมบัติก้มมันตภาพเชิงแสงหมุนรังสีโพลาไรส์ได้ ดังสมการ

$$\alpha_\lambda = \frac{180I}{\lambda} (\eta_l - \eta_d) \quad \dots\dots\dots(13.1)$$

I ทางเดินแสงในตัวกลางเป็นเซนติเมตร λ ความยาวคลื่นของรังสีรัฐบาลโพลาไรส์ (ในสัญญาการ) เป็นเซนติเมตร $\eta_l - \eta_d$ เชอร์คูลาร์เบิร์ฟริงเกนซ์ (circular birefringence)



รูป 13-8 การหมุนของรังสีรัฐบาลโพลาไรส์ในตัวกลาง $\eta_l < \eta_d$

ตัวอย่าง สารละลายนิดหนึ่งอยู่ในเซลล์ยาว 10 เซนติเมตร หมุนรังสีรัฐบาลโพลาไรส์ของโซเดียมเส้น D ไป 100 องศา จงหาผลต่างของดรชนีหักเหของตัวกลาง l และ d ที่เป็นแบบเชอร์คูลาร์โพลาไรส์ ความยาวคลื่นโซเดียมเส้น D 589 นาโนเมตร $= 5.89 \times 10^{-5}$ เซนติเมตร

$$\begin{aligned} \alpha_\lambda &= \frac{180I}{\lambda} (\eta_l - \eta_d) \\ 100 \text{ องศา} &= \frac{180 \text{ องศา} \times 10 \text{ เซนติเมตร}}{5.89 \times 10^{-5} \text{ เซนติเมตร}} \end{aligned}$$

$$\eta_l - \eta_d = 3.3 \times 10^{-6}$$

ตัวอย่าง สารละลายน้ำในโครส 3.45 กรัมต่ำ 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร ที่ 18 องศาเซลเซียส ให้ค่าการหมุนนิ่มไป 99.8 องศา เมื่อใช้รังสีที่มีความยาวคลื่น 500 นาโนเมตรเซลล์ที่ใช้วัดยาว 10 เซนติเมตร จงหาเซอร์คูลาร์ไบร์ฟริงเกนซ์

$$\eta_l - \eta_d = \frac{99.8 \text{ องศา} \times 500 \times 10^{-7} \text{ เซนติเมตร}}{180 \text{ องศา} \times 10 \text{ เซนติเมตร}} \\ = 2.77 \times 10^{-6}$$

ตราชนีหักเหที่ต่างไปเนื่องจากสารละลายนี้มีความสามารถในการหมุนรังสีโพลาไรส์ต่างกัน

สารประกอบที่มีสมบัติกัมมันตภาพเชิงแสง (Optically Active Compounds)

สารที่มีสมบัติกัมมันตภาพเชิงแสงนี้ 2 แบบ

1. สารประกอบที่เป็นผลึก ผลึกของสารเสียสมบัติกัมมันตภาพเชิงแสงเมื่อผลึกของแข็งเปลี่ยนเป็นของเหลว แก๊ส หรือสารละลายนี้ไม่เปลี่ยนเป็นของเหลว แก๊ส หรือสารละลายนี้
2. สารประกอบมีสมบัติกัมมันตภาพเชิงแสงและอยู่ภายใต้โมเลกุล คุณสมบัติของสารนี้ไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อเปลี่ยนคุณสมบัติทางกายภาพของโมเลกุล

โครงสร้างของโมเลกุลที่สมบัติกัมมันตภาพเชิงแสงศึกษาได้จากหนังสืออินทรีย์เคมีโมเลกุลที่มีสมบัตินี้ เรียกอนและไทรโอมิเออร์ (enantiomer) ไอโซเมอร์สองไอโซเมอร์ที่หมุนแสงโพลาไรส์ได้เท่า ๆ กัน แต่หมุนทิศทางตรงข้ามกัน ไอโซเมอร์ทั้งสองนี้แยกจากกันไม่ได้ถ้าไอโซเมอร์หนึ่งมีมากกว่าอีกไอโซเมอร์หนึ่ง เราสามารถแยกเอาไอโซเมอร์หนึ่งออกมายได้และพบการหมุนแสงโพลาไรส์ สารอินทรีย์ที่มีการจัดตัวแบบเตตราไฮดรอแลและอะตอมของคาร์บอนทั้งสี่ต่างกัน จะแสดงสมบัติสารที่มีสมบัติกัมมันตภาพเชิงแสง

โมเลกุลส่วนใหญ่หมุนแสงโพลาไรส์ได้ แต่เราไม่เห็นการหมุนนี้ เนื่องจากตัวอย่างไม่เป็นผลึกจึงขาดสมบัติที่สมมาตร เพราะโมเลกุลมีการจัดตัวตามยถการรวม การหมุนที่เกิดจากโมเลกุลในทิศทางเดียวกันทั้งหมดออกโดยการหมุนที่เร็วเท่ากัน และมีทิศทางตรงข้ามกันเหมือนกับภาพในกระจกเงา สารตัวอย่างที่มีความเข้มข้นของไอโซเมอร์ d และ l ปริมาณเท่ากัน จะไม่เกิดการหมุนแสงเพราะผลของ d และ l หักล้างกัน

ตัวแปรที่มีผลต่อการหมุนแสง (Variable that Effect Optical Rotation)

การหมุนของรังสีรัตนานโพลาไรส์โดยสารที่มีกัมมันตภาพเชิงแสงอยู่ในช่วงหล่ายร้อยถึงสองสามร้อยองศา จากการทดลองตัวแปรที่มีผลต่อการหมุนแสง มีความยาวคลื่น

แสง ความยาวทางเดินแสง อุณหภูมิ ความหนาแน่นของสารถ้าไม่มีการเจือจาง สำหรับสารละลายการหมุนของสารยังขึ้นกับชนิดของตัวทำละลาย

ถ้าผู้วิเคราะห์หันหน้าเข้าหาแหล่งกำเนิดรังสีโพลาร์รีส์ และแสงหมุนทวนเข็มนาฬิกา (counter clockwise) หรือพูดว่า เลโว (-) ถ้าการหมุนตามเข็มนาฬิกา (clockwise) หรือพูดว่า เดกโกร (+) ค่าการหมุนขึ้นกับสารประกอบและวิธีการวัด สมการที่ใช้ในการวิเคราะห์โพลาริมิเตอร์ เขียนได้เป็น

$$[\alpha]_l = \frac{\alpha}{l c} \quad \dots\dots\dots(13.2)$$

$[\alpha]_l$ การหมุนจำเพาะเป็นองศา (specific rotation) α อุณหภูมิเป็นองศาเซลเซียส l ความยาวคลื่นที่ใช้ ปกติใช้โซเดียมเส้น D α ค่าการหมุนที่วัดได้เป็นองศา α ความยาว เป็นเดซิเมตร c ความเข้มข้นเป็นกรัมของตัวถูกละลายในสารละลาย 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร ถ้าเป็นของเหลวบริสุทธิ์ใช้ความหนาแน่นแทนความเข้มข้น ปกติการหมุนจำเพาะวัดที่ 20 องศาเซลเซียส และใช้โซเดียมเส้น D

การหมุนโมเลกุล (Molecular rotation)

$$[M] = \frac{M [\alpha]}{100} \quad \dots\dots\dots(13.3)$$

M น้ำหนักโมเลกุล $[M]$ การหมุนโมเลกุล

ตัวอย่าง สารละลายของสารประกอบอินทรีย์เมื่อนำไปวัดในหลอดยาว 20 เซนติเมตร วัดค่าการหมุนได้ 38.73 องศา เมื่อนำตัวทำละลายอย่างเดียวกันไปวัดการหมุนได้ 1.46 องศา ถ้าการหมุนจำเพาะมีค่า 62.12 องศา จงหาความเข้มข้นของตัวถูกละลาย

$$\begin{aligned} [\alpha]_l &= 62.12 \\ \alpha \text{ ที่แก้ไข} &= (38.73 - 1.46) \\ &= 37.27 \end{aligned}$$

$l = 20$ เซนติเมตร หรือ 2 เดซิเมตร

$$\begin{aligned} [\alpha]_l &= \frac{\alpha}{l c} \\ 62.12 &= \frac{37.27}{2 \times c} \\ \text{ความเข้มข้น} &= 0.30 \text{ กรัมต่อ 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร} \end{aligned}$$

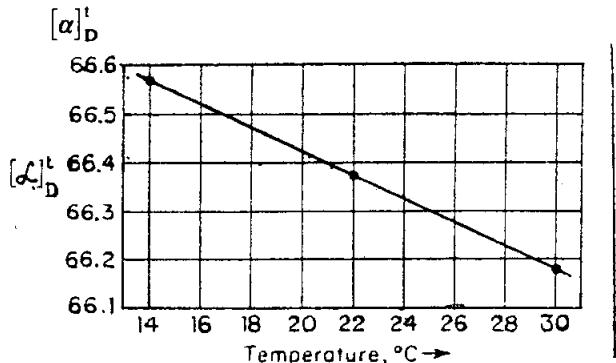
การหมุนจำเพาะขึ้นกับผลของการอุณหภูมิ (Effect of Temperature) สมการ 13.2 ต้องคำบัญค่าเปลี่ยนแปลง อุณหภูมิ เมื่ออุณหภูมิของสารละลายในหลอดโพลาริมิเตอร์เปลี่ยน จะต้องแก้ค่าที่เปลี่ยนไปโดยสมการ

$$[\alpha]_l^t = [\alpha]_l^{t_1} + n(t_1 - t_2) \quad \dots\dots\dots(13.4)$$

อุณหภูมิของสารละลายเป็นองศาเซลเซียส n ค่าคงที่

ตัวอย่าง ค่าการหมุนจำเพาะที่วัดได้จากสารละลายซูโกรสที่อุณหภูมิต่าง ๆ สามอุณหภูมิ จากข้อมูลต่อไปนี้ จงหาค่า n และค่า $[\alpha]_D^{20}$

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	14.0	22.0	30.0
	66.57	66.375	66.18



จากเคอร์ฟนี้หาความชันได้ -0.0244 ค่านี้คือ n เมื่อต้องการหาค่า $[\alpha]_D^{20}$

$$\begin{aligned} [\alpha]_D^{20} &= [\alpha]_D^t - 0.0244(20 - t) \\ &= 66.375 - 0.0244(-2) \\ &= 66.42 \end{aligned}$$

ผลของความเข้มข้น (Effect of concentration) เมื่อความเข้มข้นของสารละลายเปลี่ยน ค่าการหมุนจำเพาะเปลี่ยนไปด้วย ขนาดของการหมุนนี้ขึ้นกับความเข้มข้นของตัวทำละลายที่ไวต่อแสงและสมบัติจำเพาะของสารประกอบ ไบอต (Biot) ให้ความสัมพันธ์ การวิเคราะห์ปริมาณไว้ 3 สมการ

$$[\alpha] = A + Bq \quad \dots\dots\dots(13.5)$$

$$[\alpha] = A + Bq + Cq^2 \quad \dots\dots\dots(13.6)$$

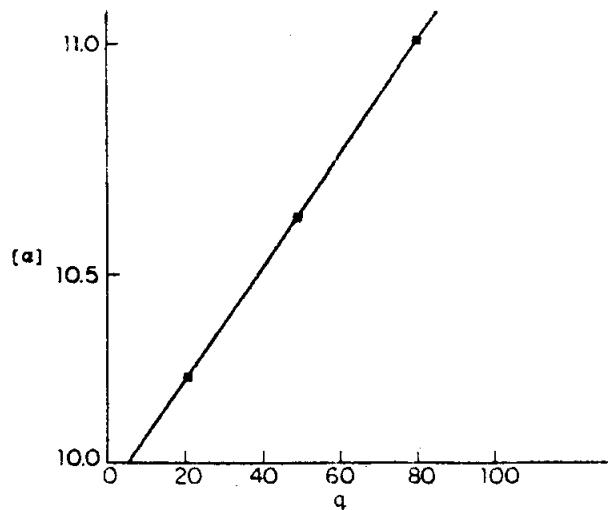
$$[\alpha] = \frac{A + Bq}{C + q} \quad \dots\dots\dots(13.7)$$

α แทนการหมุนจำเพาะ A , B และ C ค่าคงที่ q เศษส่วนโดยน้ำหนักของตัวทำละลายที่มีในสารตัวอย่าง

สมการทั้งสามสมการแทนเส้นตรง พาราโบลาและไฮเปอร์โบลาตามลำดับ ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นและค่าการหมุนของสารหาได้จากการเตรียมสารมาตรฐานชุดหนึ่งให้มีความเข้มข้นต่าง ๆ กัน เพื่อหาว่าเคอร์ฟของสารนี้มีรูปร่างเป็นอย่างไร และใช้กับสูตรอะไรได้

ตัวอย่าง สารละลายแซคคาโรด์สามความเข้มข้นมีความเข้มข้นร้อยละ 20, 50 และ 80 ในตัวทำละลายเมื่อนำสารละลายนี้ไปวางในเซลล์ยาว 20 เซนติเมตร และวัดข้อมูลได้

ความเข้มข้น (ร้อยละ)	q	d	α	$[\alpha]$
0.80	0.20	1.116	18.26	10.22
0.50	0.50	1.290	13.74	10.65
0.20	0.80	1.464	6.47	11.04



เคอร์ฟที่ได้จากการพล็อต $[\alpha]$ กับ q เพื่อหาสมการของไบอott จากเคอร์ฟนี้เป็นเส้นตรง แสดงว่า $[\alpha] = A + Bq$

$$10.22 = A + 0.20 B$$

$$10.65 = A + 0.50 B$$

$$11.05 = A + 0.80 B$$

$$\text{แก้สมการคู่ได้ถูกต้องได้ } A = 9.995 \text{ และ } B = 1.37$$

ผลของความยาวคลื่น (Effect of wavelength) ค่าการหมุนจำเพาะแปรไปกับความยาวคลื่น ความสัมพันธ์นี้หาได้จากสมการของดรูด์ (Drude)

$$[\alpha] = \frac{k_1}{\lambda_0^2 - \lambda_1^2} + \frac{k_2}{\lambda_0^2 - \lambda_2^2} + \frac{k_3}{\lambda_0^2 - \lambda_3^2} \quad \dots\dots(13.8)$$

k_1, k_2 และ k_3 กับ λ_1, λ_2 และ λ_3 เป็นค่าคงที่ λ_0 เป็นความยาวคลื่นที่ใช้มีหน่วยเป็นไมครอน (ไมโครเมตร)

สมการนี้ง่ายขึ้น เมื่อ λ ที่อยู่ใกล้กันมาก enough ให้โดยแบบของตัวค่า α และเขียนเป็นสมการได้

$$[\alpha] = \frac{k}{\lambda_0^2 - \lambda_1^2} \quad \dots\dots\dots(13.9)$$

ถ้า λ ใกล้กันมาก enough ดังนั้น $\lambda_0 > > \lambda_1$

$$[\alpha] = \frac{k}{\lambda_0^2} \quad \dots\dots\dots(13.10)$$

ตัวอย่าง สูตรประกอบอินทรีย์หนึ่งมีค่า $[\alpha] = 14.63$ องศา เมื่อใช้รังสีที่มีความยาวคลื่น 589 มิลลิเมตร และมีค่า $[\alpha] = 15.27$ องศา เมื่อใช้ความยาวคลื่น 436 มิลลิเมตร จงคำนวณค่าคงที่จากสมการของดูดซึ่งหาค่า $[\alpha]$ ที่ $\lambda_0 = 707$ มิลลิเมตร

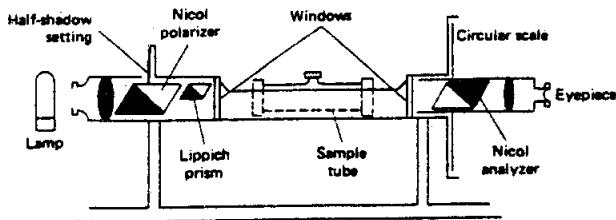
$$\begin{aligned} [\alpha] &= \frac{k}{\lambda_0^2 - \lambda_1^2} \\ 14.63 &= \frac{k}{(0.589)^2 - \lambda_1^2} \\ 15.27 &= \frac{k}{(0.436)^2 - \lambda_1^2} \\ k &= 5.08 - 14.63 \lambda_1^2 \\ k &= 2.90 - 15.27 \lambda_1^2 \\ O &= 2.18 + 0.64 \lambda_1^2 \\ \lambda_1^2 &= -3.41 \\ k &= 54.97 \end{aligned}$$

เมื่อ $\lambda_0 = 0.707$ มิลลิเมตร

$$\begin{aligned} [\alpha] &= \frac{54.49}{(0.707)^2 - \lambda_1^2} \\ [\alpha] &= \frac{54.49}{(0.707)^2 - (-3.41)^2} \\ [\alpha] &= 14.06 \end{aligned}$$

โพลาริมิเตอร์ (Polarimeter)

องค์ประกอบของโพลาริมิเตอร์ ได้แก่ แหล่งกำเนิดรังสีที่มีความยาวคลื่นเดียว (รังสีเอกรังสี) ปริซึมที่ทำแสงโพลาไรส์ หลอดใส่สารตัวอย่าง ปริซึมตัววิเคราะห์กับสเกล แบบวง (with circular scale) เครื่องตรวจหาปกติใช้เลนส์ใกล้ตาเป็นเครื่องตรวจหา รูป 13-9 โพลาริมิเตอร์



รูป 13-9 องค์ประกอบของโพลาริเมเตอร์

แหล่งกำเนิดรังสีเอกรังสี (Monochromatic light source) การหมุนของแสงเปลี่ยนเมื่อเปลี่ยนความยาวคลื่น อุปกรณ์นี้ใช้แสงจากแหล่งกำเนิดรังสีที่มีความยาวคลื่นเดียวกันทั้งหมดโดยเดิมชื่อให้แสงที่ความยาวคลื่นเดียวกัน D รังสีที่ออกมาก็ผ่านฟิลเตอร์ที่เหมาะสมเพื่อกรองเอารังสีที่ไม่ต้องการออกรวมกับแบล็คกราวน์ หลอดprotoที่รังสีเฉพาะที่ความยาวคลื่น 546 นาโนเมตรผ่าน

ตัวทำแสงโพลาไรส์และตัววิเคราะห์ (Polarizer and Analyzer) นิโกลปริซึม (Nicol prism) ใช้เป็นแหล่งผลิตรังสีระนาบโพลาไรส์และบังใช้หมุนที่สารตัวอย่างหมุนแสง การวัดมุมนี้ทำได้ โดยครั้งแรกเมื่อไม่มีสารตัวอย่างอยู่ปรับปริซึมให้ล้ำรังสีทั้งสองตั้งจากกันความเข้มแสงที่ออกมากจะมีค่าน้อยที่สุด เมื่อใส่สารตัวอย่างลงในหลอดทดลองจะมีการหมุนของลำแสงทำให้ความเข้มแสงที่ออกมากขึ้น ให้ปรับตำแหน่งปริซึมตัววิเคราะห์จนแสงที่ออกมากมีความเข้มน้อยที่สุด หมุนที่เปลี่ยนไปเพื่อลดความเข้มแสงมีค่าเท่ากับกำลังการหมุน (rotatory power) ของแสงโดยสารตัวอย่าง ตำแหน่งแสงที่มีความเข้มต่ำสุดหาได้ด้วยตาไม่ค่อยถูกต้อง เพราะอัตราเร็วของการเปลี่ยนความเข้มแสงต่อมุมที่หมุนไปมีค่าน้อยในช่วงแสงที่มีความเข้มต่ำ ๆ จึงใส่อุปกรณ์ฮาฟ-แซดโว (half shadow) เพื่อช่วยให้การหมุนที่เปลี่ยนไปถูกต้องยิ่งขึ้น

อุปกรณ์ฮาฟแซดโว (Half Shadow Device) เป็นนิโกลปริซึมที่มีขนาดเล็กเรียกว่าลิพพิชปริซึม (lippich prism) ลิพพิชปริซึมทำหน้าที่ตัดลำแสงที่ออกมาจากตัวทำแสงโพลาไรส์ครึ่งหนึ่ง เมื่อปรับตำแหน่งของลิพพิชเพื่อเปลี่ยนมุมของรังสีระนาบโพลาไรส์ให้เปลี่ยนไปหนึ่งถึงสององศา ขณะที่ไม่มีสารตัวอย่างและปรับตัววิเคราะห์ทำมุม 90 องศา กับปริซึมตัวโพลาไรส์ จะเห็นส่วนสว่างและมืดชัดเจน ส่วนที่สว่างตรงกับครึ่งหนึ่งของ

จำแสงที่ถูกหมุนโดยลิพพิชปริซึม ส่วนมีดคือส่วนของจำแสงที่ไม่ถูกขัดขวางโดยลิพพิชปริซึม ความเข้มของสองส่วนที่มีดและสว่างปรับโดยการหมุนปริซึมตัววิเคราะห์ แล้วปรับสเกลของปริซึมตัววิเคราะห์ให้อ่านได้ชุนย์ที่จุดนี้ เมื่อใส่สารตัวอย่างและสารตัวอย่างหมุนแสงปรับปริซึมตัววิเคราะห์จนตำแหน่งของสองมีดและสว่างสมดุลกัน ค่าการหมุนของสารตัวอย่างอ่านได้จากสเกลแบบเซอร์คูลาร์ของปริซึมตัววิเคราะห์

อุปกรณ์ที่ใช้ลิพพิชปริซึมวัดกำลังการหมุนของแสง (optical rotatory power) วัดได้เที่ยงถึง 0.005 ถึง 0.01 องศา ส่วนอุปกรณ์ที่ใช้วัดแสงแบบโฟโตอิเล็กทริกวัดได้เที่ยงถึง 0.001 องศา

หลอดใส่สารตัวอย่าง (Sample tubes) ตัวอย่างของสารที่ไวต่อการหมุนแสง α หรือ β ใส่อยู่ในหลอดรูปทรงกระบอกยาว 5, 10 และ 20 เซนติเมตร ด้านปลายที่ให้แสงผ่านเป็นแผ่นแก้วขนาดกันติดกับหลอดทดลอง อุปกรณ์บางชนิดมีระบบควบคุมอุณหภูมิของสารตัวอย่างเพื่อทำให้ค่าที่วัดได้ถูกต้อง ความยาวของหลอดทดลองหาได้จากการวัดของเหลวที่ทราบกำลังการหมุนแล้วจึงคำนวณหาความยาวของหลอด ปกติใช้ของสมนินโคเต็นกับแอลกอฮอล์หรือซูโคลิกสกันน้ำ

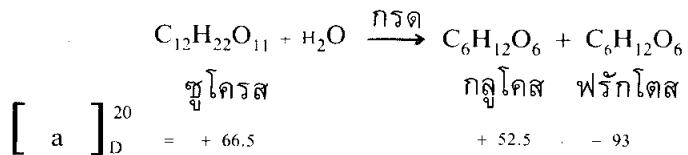
การประยุกต์การใช้โพลาริเมตรี (Applications of Polarimetry)

การวิเคราะห์คุณภาพ (Qualitative Analysis) สารประกอบบริสุทธิ์หมุนแสงไปด้วยมุ่งคงที่ คุณสมบัตินี้คล้ายกับจุดหลอมเหลว จุดเดียดหรือธรรมชาติที่มีอยู่ในธรรมชาติ เช่น กรดอะมิโน สเตียรอยด์ และคาร์บอไฮเดรต มีสมบัติเป็นสารที่ไวต่อการหมุนแสง และสารแต่ละตัวก็หมุนแสงได้เฉพาะมุ่ง

ปริมาณวิเคราะห์ (Quantitative Analysis) อุปกรณ์นี้ใช้หาปริมาณสารประกอบที่ไวต่อการหมุนแสง โดยเขียนกราฟมาตรฐานระหว่างความเข้มข้นกับความสามารถในการหมุนแสง เครื่องพิทีได้จากการพล็อตตณาจเป็นเส้นตรง พาราโบลิกหรือไฮเปอร์โบลิก

การหาโครงสร้าง (Structural Determination) การหมุนมุ่งของแสงที่เปลี่ยนไปเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงทางเคมีวัดได้ ความสัมพันธ์ของสูตรโครงสร้าง (เอมพิริคัล) หาได้จากการศึกษาโครงสร้างของสารที่ทราบ และเปรียบเทียบกับข้อมูลของสารประกอบที่ไม่ทราบ โครงสร้างของสารพากสเตียรอยด์ คาร์บอไฮเดรต กรดอะมิโนและสารประกอบอินทรีย์นิยมใช้หลักการวัดโพลาริเมตรี

อุปกรณ์นี้นิยมใช้หาปริมาณน้ำตาลในโรงงานอุตสาหกรรม ความเข้มข้นของสารแปรผันโดยตรงกับค่าการหมุนของแสงที่เปลี่ยนไป แต่ถ้ามีสารประกอบชนิดอื่นปนต้องใช้วิธีการวิเคราะห์ที่ซับซ้อนยิ่งขึ้น การหาปริมาณซูโครสที่ถูกแยกสลายด้วยน้ำ หาได้จากมุกการหมุนของแสงที่เปลี่ยนไป



ปฏิริยาเรียกการผกผัน (inversion) เนื่องจากมีการเปลี่ยนเครื่องหมายการหมุน มุกความเข้มข้นของซูโครสโดยตรง กับผลต่างการหมุนหมุนก่อนและหลังการผกผัน น้ำตาลดิบส่วนมากเป็นสารที่ไวต่อการหมุนแสงยกเว้นซูโครส เมื่อนำซูโครสไปต้มกับกรดหรือเอนไซม์อินเวร์เทส ซูโครสจะเปลี่ยนไปเป็นโมเลกุลพริกโตสกับโมเลกุลกลูโคส ซูโครสมีค่าการหมุนจำเพาะ + 66.5 องศา พริกโตสมีค่าการหมุนจำเพาะ - 93 องศา กลูโคสมีค่าการหมุนจำเพาะ + 52.5 องศา ดังนั้น ค่าการหมุนจำเพาะเปลี่ยนจาก + 66.5 องศา ถึง $- \frac{93 + 52.5}{2} = - 20.2$ องศา เมื่อมีการผกผัน จากหลักการวัดการเปลี่ยนการหมุนหมุน เมื่อมีการผกผันสามารถหาซูโครสที่มีอยู่ในน้ำตาล (สารที่ไวต่อการหมุนแสงได้) สูตรของเคลร์เจ็ต (Clerget) ใช้หาปริมาณซูโครสได้

$$\text{ร้อยละของซูโครส} = \frac{100(a - h)}{144 - F} \times \frac{W}{w} \quad \dots\dots\dots(13.11)$$

a ค่าการหมุนเป็นของศาสตราจารย์เวนซ์กี (Venzke) ของสารละลายซูโครสก่อนการผกผัน
h การหมุนเป็นของศาสตราจารย์เวนซ์กีหลังจากการแยกสลายด้วยน้ำ F อุณหภูมิเป็นองศาเซลเซียส
w น้ำหนักปกติของมาตรฐานน้ำตาลที่ใช้ w น้ำหนักสารตัวอย่างที่นำมาต่อสารละลาย 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร

สมการนี้เปลี่ยนไปเล็กน้อยเมื่อเปลี่ยนความเข้มข้น และรายละเอียดของวิธีการแยกสลายด้วยน้ำ แฟกเตอร์การเปลี่ยนหาได้จากการอ่านของศาสตราจารย์เวนซ์กีสำหรับน้ำตาลที่มีการผกผัน การเจือจางทำโดยเดิมกรดไฮดรอลอริก (10 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อสารละลาย 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร) เพื่อใช้แยกสลายด้วยน้ำ การแยกสลายด้วยน้ำ ซูโครส 1 โมเลกุล ต้องใช้น้ำ 1 โมเลกุล

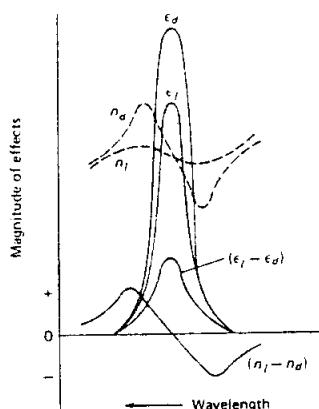
ออปติกัลโรตatory ดิสเพอร์ชันและเซอร์คูลาร์ไดครอยซ์มีม

(Optical Rotatory Dispersion and Circular Dichroism ORD และ CD)

ออปติกัลโรตatory ดิสเพอร์ชัน (โออาร์ดี) และเซอร์คูลาร์ไดครอยซ์มีม (ซีดี) เป็น

กระบวนการทางกายภาพที่ขึ้นกับอันตรกิริยาของรังสีเซอร์คูลาร์โพลาไรส์ กับสารที่ไม่ต่อการหมุนแสง โอลาร์ดีวัตกำลังการหมุนของโมเลกุลในสารประกอบเมื่อเปลี่ยนความยาวคลื่น การหมุนเชิงแสง (Optical rotation) ที่ความยาวคลื่นใด ๆ ขึ้นกับผลต่างของครรชนีหักเหของสารที่มีต่อรังสีเซอร์คูลาร์ลีโพลาไรส์ หรือขึ้นกับเซอร์คูลาร์ไบร์ฟิงเกนซ์ ($\eta_l - \eta_d$) เทอมนี้เปรียปกับความยาวคลื่น ซึ่ดีขึ้นกับสภาพดูดกลืนโมลาร์ของสารประกอบที่ไม่ต่อการหมุนรังสีเซอร์คูลาร์ลีโพลาไรส์ d และ l ต่างกัน หรือกล่าวว่า $CD = \text{วัด } \epsilon_l - \epsilon_d$ ของสารที่ไม่ต่อการหมุนของรังสีเมื่อเปลี่ยนความยาวคลื่น

ในปี ค.ศ. 1895 คอทตอนรายงานว่าสภาพดูดกลืนโมลาร์ของรังสีเซอร์คูลาร์ลี-โพลาไรส์ d และ l มีค่าไม่เท่ากัน คอทตอนพบว่าความสัมพันธ์ระหว่างสภาพดูดกลืน (absorptivity) กับผลต่างของครรชนีหักเหของรังสีเซอร์คูลาร์ลีโพลาไรส์ d และ l ค่อนข้างซับซ้อน ผลนี้เรียกผลของคอทตอน (cotton effect) หรือกล่าวว่าผลของคอทตอนเกิดจากโอลาร์ดี และซีดี

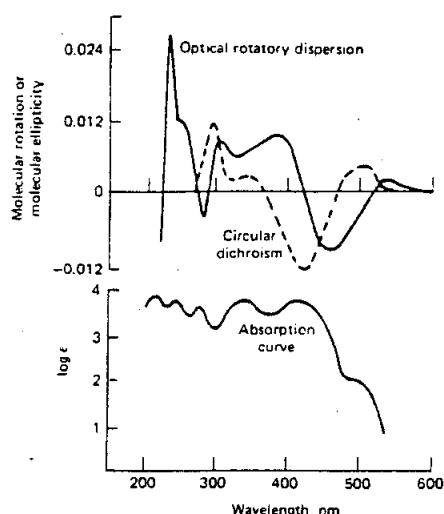


รูป 13-10 ผลของคอทตอน

หลักการของคอทตอน (General principles of Cotton) คอทตอนใช้สารละลายโพแทสเซียมโครเมียมหาร์เกรต ซึ่งดูดกลืนรังสีช่วงวิสิเบลสนับสนุนเหตุผลของน้ำจากการทดลองพบว่ารังสีเซอร์คูลาร์ลีโพลาไรส์ d ไม่เพียงแต่ถูกหักเห แต่ยังถูกดูดกลืนโดยสารไม่เท่ากับรังสีเซอร์คูลาร์ลีโพลาไรส์ l หรือ $\epsilon_d \neq \epsilon_l$ ขณะเดียวกันคอทตอนยังพบว่ามีการเปลี่ยนค่าการหมุนเชิงแสง (optical rotation) $\eta_l - \eta_d$ เช่นเดียวกับผลต่างของสภาพดูดกลืนรังสี ($\epsilon_l - \epsilon_d$) ของลำรังสีในช่วงที่มีการดูดกลืนรังสีสูงสุด ผลนี้แสดงในรูป 13-10 เคอร์ฟ ($\eta_l - \eta_d$) ของสารชนิดหนึ่งมีรูปร่างคล้ายกับเคอร์ฟการกระจาย (dispersion

ช่วงที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมากเมื่อเปลี่ยนความยาวคลื่น (การกระจายแบบวิปริต) คือช่วงที่มีการดูดกลืนเกิดขึ้น

เคอร์ฟอปอปติกัลโรตา托รีดิสเพอร์ชัน (Optical Rotatory Dispersion Curve) ได้จากการพล็อตค่าการหมุนจำเพาะ (specific rotation) หรือการหมุนโมเลกุลกับความยาวคลื่นเคอร์ฟที่ได้จากการพล็อตมีสองแบบ ช่วงการกระจายปกติ $[\alpha]$ เปลี่ยนไปเพียงเล็กน้อยเมื่อเปลี่ยนความยาวคลื่น แบบที่สองเป็นช่วงที่มีการกระจายวิปริต เกิดไกล์พีค ดูดกลืน ถ้าพีคหนึ่งถูกแยกออกจากพีคอื่นๆ เคอร์ฟที่ได้จากการกระจายแบบวิปริตจะพบในช่วง $\theta_L - \theta_d$ ช่วงนี้การหมุนซิงแสง $[\alpha]$ เปลี่ยนไปอย่างมากจนมีค่าสูงสุดหรือต่ำสุด และเปลี่ยนทิศทางไปยังค่าต่ำสุดหรือมากสุด พอนั่งช่วงนี้เป็นการกระจายแบบปกติ รูป 13-10 การเปลี่ยนเครื่องหมายของการหมุนอาจมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงเหล่านี้ได้

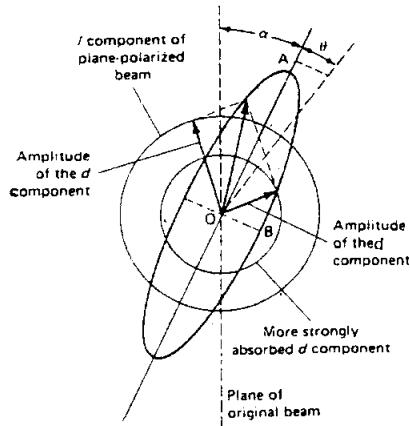


รูป 13-11 ออปติกัลโรตา托รีดิสเพอร์ชัน เบื้องต้นการใช้กรวยขึ้น และเคอร์ฟดูดกลืนของ (+) แคมเฟอร์ริไตรไธโอน

ถ้าโมเลกุลมีพีคดูดกลืนหลายพีค ช่วงที่มีการกระจายแบบวิปริตอาจเกิดการซ้อนกัน มีผลทำให้เคอร์ฟของโออาร์ดีค่อนข้างซับซ้อน ดังรูป 13-11 เป็นสเปกตรัมดูดกลืนรังสีอัลตราไวโอลेटของสารตัวอย่างกับสารอ้างอิง

เคอร์ฟเชอร์คุลาร์ไดครอยซ์ม (Circular Dichroism curve) ซีดี เกิดจากสารดูดกลืนรังสี d หรือ ℓ ของลำรังสีรະนาบโพลาไรส์ไดไม่เท่ากัน ผลที่เกิดจากการดูดกลืน

รังสีโพลาไรส์ d และ l ต่างกัน ทำให้ได้รังสีรวมเป็นแบบลักษณะอิลลิปติกัลลีโพลาไรส์ (elliptically polarized beam) ดังรูป 13 - 12



รูป 13-12 รังสีที่ได้จากการรวมของรังสีที่มีค่าคงที่ $\epsilon_d > \epsilon_l$ และ $\eta_l > \eta_d$

เมื่อมีการดูดกลืนไกลักษณะแบบดูดกลืนโดยตัวกลางดูดกลืนลำรังสีเชอร์คูลาร์ลีโพลาไรส์ d มากกว่า l หรือ $\epsilon_d > \epsilon_l$ และหน่วงลำรังสีเชอร์คูลาร์ลีโพลาไรส์ l มากกว่า d หรือ $\eta_l > \eta_d$ มีผลทำให้รังสีเดินทางเป็นวงรี (elliptical path) จาก $\epsilon_d > \epsilon_l$ ขนาดของลำรังสีเชอร์คูลาร์ลีโพลาไรส์ที่เหลือหลังจากการดูดกลืนของ l มีค่ามากกว่า จาก $\eta_l > \eta_d$ ลำรังสีเชอร์คูลาร์ลีโพลาไรส์ d เดินทางได้มากกว่า l จากผลทั้งสองข้อนี้ทำให้ได้ลำรังสีเป็นวงรี

มุนที่หมุนไป α เป็นมุมระหว่างแกนใหญ่หรือแกนหลัก (major axis) ของลำรังสีที่ออกกับระนาบลำรังสีโพลาไรส์ที่ตกล อิลลิปติซิตี้ (ellipticity) θ เส้นสัมผัส θ เท่ากับระยะห่างของแกนย่อย (minor axis) ต่อระยะห่างของแกนใหญ่หรือแกนหลัก (major axis) (OB/OA) อิลลิปติซิตี้อาจหาได้จากความสัมพันธ์

$$\theta = \frac{1}{4} (k_l - k_d) \quad \dots\dots(13.12)$$

k_l และ k_d เป็นสัมประสิทธิ์สภาพดูดกลืนรังสีเชอร์คูลาร์ลีโพลาไรส์ l และ d θ เป็นเรเดียน เทอม $k_l - k_d$ เรียกเชอร์คูลาร์ไดครอยซ์ม θ อิลลิปติซิตี้เชิงโมเลกุล θ (molecular ellipticity)

$$[\theta] = 3305 (\epsilon_l - \epsilon_d) \quad \dots\dots(13.13)$$

$[\theta]$ มีหน่วยเป็นองศาตารางเซนติเมตรต่อเดซิโมล E° 's สภาพดูดกลืนไมลาร์ของลำรังสีเซอร์คูลาร์ลี d และ l

เคอร์ฟชีดี ได้จากการพลอต $[\theta]$ กับความยาวคลื่น $[\lambda]$ มีค่าเป็นลบหรือบวก ขึ้นกับขนาดของ E_d และ E_l เส้นประของรูป 13-11 เป็นเส้นเคอร์ฟชีดี

อุปกรณ์ออปติกัลโรตามิเตอร์ดิสเพอร์ชัน (Optical Rotatory Dispersion Instrument)

โออาร์ดี วัดการหมุนเชิงแสง (optical rotation) ที่หลาย ๆ ความยาวคลื่นเครื่อง สเปกโโทรโพลาริมิเตอร์สมัยใหม่สามารถบันทึกเคอร์ฟของโออาร์ดีได้ในช่วงอัลตราไวโอล็อก และวิสเบิล อุปกรณ์นี้ใช้แหล่งกำเนิดรังสีที่มีความยาวคลื่นเดียว ให้แสงที่มีความยาวคลื่นเดียวกันผ่านตัวทำแสงโพลาไรส์ สารตัวอย่างและตัววิเคราะห์ เครื่องตรวจหาแสงเป็นหลอดไฟโตเมตติพลาเยอร์ สัญญาณที่เข้าสู่เครื่องตรวจหาได้จากการปรับตำแหน่งตัววิเคราะห์เพื่อชดเชยการหมุนเชิงแสง ที่เกิดจากสารตัวอย่างและเครื่องขยาย ปากกาของเครื่องบันทึกจะเปลี่ยนแปลงตามสัญญาณที่ออกมา โพลาริมิเตอร์ที่วัดแสงด้วยสายตามีอุปกรณ์ชาฟเฟอร์โดว์เพื่อช่วยการทำตำแหน่งของตัววิเคราะห์สะดวก บางเครื่องใช้อุปกรณ์ทำให้แสงโพลาไรส์เปลี่ยนมุ่งไปเล็กน้อยในช่วงเวลาที่แน่นอน (ด้วยความถี่ต่ำ) เครื่องขยายสัญญาณจะรับเฉพาะสัญญาณกระแสลับ และปรับตำแหน่งตัววิเคราะห์จนได้สัญญาณมีดสว่างชัดเจน สเปกโโทรโพลาริมิเตอร์บางเครื่องใช้ระบบจำแสงคู่โดยมีปริซึม ตัวทำแสงโพลาไรส์และตัววิเคราะห์อย่างละสองอัน

ชีดีสเปกโโทรไฟโตมิเตอร์มีอุปกรณ์ผลิตรังสีเซอร์คูลาร์ลีโพลาไรส์ d และ l และวัดผลต่างการดูดกลืนรังสี โดยสารที่ต้องการศึกษาในช่วงความยาวคลื่นที่สนใจเพื่อหาเซอร์คูลาร์ไดครอยซ์ม ชีดีสเปกโโทรไฟโตมิเตอร์บางชนิดใช้วัดค่าอิลิปติชีดีเชิงไมเลกุลซึ่งได้จากการกฎของเบียร์ สมการ 13-13 เขียนได้เป็น

$$[\theta] = \frac{3305}{bc} (\log P_{l_0}/P_l - \log P_{d_0}/P_d) \quad \dots\dots(13.14)$$

P_l และ P_d กำลังของลำรังสีเซอร์คูลาร์ลีโพลาไรส์ l ก่อนและหลังผ่านสารละลายยาว b สารละลายตัวอย่างมีความเข้มข้น c โมลต่อลูกบาศก์เดซิเมตร P_{d_0} และ P_{l_0} กำลังของลำรังสีเซอร์คูลาร์ลีโพลาไรส์ d ก่อนและหลังผ่านสารละลายยาว b โดยที่สารละลายตัวอย่างมีความเข้มข้น c โมลต่อลูกบาศก์เดซิเมตร

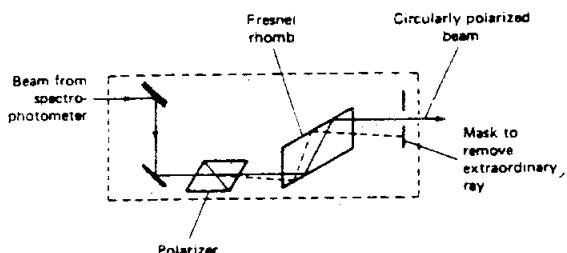
$$\begin{aligned} \text{ถ้า} \quad P_{d_0} &= P_{l_0} \\ [\theta] &= \frac{3305}{bc} \cdot \log P_d / P_l \end{aligned} \quad \dots\dots(13.15)$$

[θ] หรืออิลลิปติซีดีเชิงโมเลกุลหาได้จากการเปรียบเทียบกำลังแสงของลำรังสีเซอร์คูลาร์ลีโพลาไรส์ d และ e ที่ผ่านออกมาโดยให้กำลัง (ความเข้ม) ของลำรังสีเซอร์คูลาร์ลีโพลาไรส์ d และ e ที่เข้าไปเท่ากัน

ถ้าใช้สเปกโกรไฟตอมิเตอร์แบบธรรมดาก็ใช้ศึกษา [θ] ต้องมีอุปกรณ์ผลิตรังสีเซอร์คูลาร์ลีโพลาไรส์ d และ e อุปกรณ์นี้ได้แก่ กลีกแอนน์ไอโอโซทรอปิกที่มีความหนาเหมาะสม เมื่อผ่านรังสีระบวนโพลาไรส์เข้าไปในกลีกแอนน์ไอโอโซทรอปิก จะได้รังสีผิดธรรมดากับรังสีธรรมดาก็ต้องมีความยาวคลื่นต่างกันเช่นหนึ่งส่วนสี่ความยาวคลื่น และอยู่คันละเพส การหมุนแกนแสงเช่นหนึ่งส่วนสี่แผ่นคลื่น (90 องศา) ทำให้ได้รังสีเซอร์คูลาร์ลีโพลาไรส์ d หรือ e เพียงอย่างเดียว ถ้าใช้สเปกโกรไฟตอมิเตอร์แบบจำแสงเดียว วัดเซอร์คูลาร์ได้ครอยซึมหลังตัวทำแสงโพลาไรส์ต้องมีเช่นหนึ่งส่วนสี่แผ่นคลื่นอยู่ก่อน ซึ่งจะได้ตัวอย่าง ซึ่งทำหน้าที่หมุนแผ่นคลื่นไป ± 45 องศา เชลล์ใส่สารตัวอย่างวางอยู่ระหว่างแผ่นคลื่นและเครื่องตรวจหา โดยปรับแผ่นคลื่นให้ได้เฉพาะรังสีเซอร์คูลาร์ d แล้ว ปรับเครื่องให้อ่านความสั่งผ่านเป็นร้อยละ 100 หรือความดูดกลืนรังสีเป็น 0 หมุนแผ่นคลื่น 90 องศา อ่านความดูดกลืนของสารตัวอย่างใหม่ ค่านี้คือ $\log P_d / P_e$ การศึกษาสเปกตัม ช่วงกว้าง ๆ ต้องใช้แผ่น (เช่นหนึ่งส่วนสี่แผ่นคลื่น) หลาย ๆ แผ่นที่มีความหนาต่างกัน (รูปลิม)

การผลิตรังสีเซอร์คูลาร์โพลาไรส์ d หรือ e

กลีกแอนน์ไอโอโซทรอปิกที่มีความหนาเหมาะสม ให้รังสี O และ E ออกมามีความยาวคลื่นต่างกันเช่นหนึ่งส่วนสี่ความยาวคลื่นและอยู่คันละเพส การหมุนแกนแสงของเช่นหนึ่งส่วนสี่แผ่นคลื่นไปเช่นหนึ่งส่วนสี่ความยาวคลื่น (เปลี่ยนไป 90 องศา) ทำให้ได้รังสีเซอร์คูลาร์ลีโพลาไรส์ d และ e เพียงอย่างเดียว



รูป 13-13 สเปกโกรไฟตอมิเตอร์ที่คัดแบ่งมาใช้ผลิตรังสีเซอร์คูลาร์โพลาไรส์

เฟรเนล รอมบ์ (Fresnel rhomb) อุปกรณ์นี้ใช้คู่กับเครื่องมือสเปกโถรแบบลำแสง คู่ ดังรูป 13-13 เมื่อสำรั่งสีโพลาไรส์ที่เกิดการสะท้อนภายใต้แสงที่ต้องน้ำยาในเฟรเนลรอมบ์ สำรั่งสีโพลาไรส์ ส่วนหนึ่งที่ตั้งจากถูกหน่วงไว้อีกส่วนหนึ่งที่อยู่ในแนวราบผ่านออกไป การหน่วงขึ้นกับธรรมชาติของแสงที่ส่องหันและจำนวนของการสะท้อน เฟรเนลรอมบ์ทำหน้าที่เช่นหนึ่งส่วนสี่แผ่นคลื่นจึงมีเฉพาะสำรั่งสีเซอร์คูลาร์โพลาไรส์ผ่านออกมานะ

รูป 13-13 เป็นชุดของอุปกรณ์ที่สำคัญในที่สำคัญในที่สำคัญของสเปกโถรโฟโตมิเตอร์ แบบลำแสงคู่ ส่วนทางด้านลำแสงอ้างอิงก็มีอุปกรณ์ชุดนี้เช่นกัน ปรับอุปกรณ์นี้ให้รังสี d แยกออกจากด้านหนึ่ง ส่วนรังสี e ออกจากอีกด้านหนึ่ง แล้วให้ทั้งสองสำรั่งสีผ่านเข้าเซลล์ที่หนาเท่ากัน ซึ่งสำคัญอย่างยิ่งและสารอ้างอิง วัดความเข้มแสงเบรียบเทียบกัน

อุปกรณ์รุ่นใหม่ที่ใช้ศึกษาเซอร์คูลาร์ได้ครอบคลุมใช้เซลล์ปอกเกล ผลิตรังสีเซอร์คูลาร์สีโพลาไรส์ เซลล์นี้เป็นผลึกแกนเดียวของแอมโมเนียมไดโซโดเรเจนฟอสเฟตที่ถูกประกอบด้วยข้าวโพด้าบอร์ไพร์ส์ ผลึกนี้ถูกจัดให้รังสีผ่านไปตามแกนหลักหรือแกน Z โดยรังสีที่ผ่านออกมายังด้านกับแกนข้าวโพด้า เมื่อใส่สักยีเข้าไปเห็นว่าจะเกิดการหน่วงขึ้น การหน่วงประดิษฐ์โดยตรงกับสนาม รังสีเซอร์คูลาร์สีโพลาไรส์ d หรือ e ที่เกิดขึ้นจะขึ้นกับพิเศษทางของสนาม เซลล์ปอกเกลที่ได้รับกำลังจากแหล่งให้สัญญาณกระแสสลับเพื่อให้รังสี d หรือ e เซลล์นี้จัดไว้ระหว่างตัวทำแสงเอกสารและเครื่องตรวจหาของสเปกโถรโฟโตมิเตอร์ รังสีเซอร์คูลาร์สีโพลาไรส์ d หรือ e จะตกลงบนเครื่องตรวจหาและให้สัญญาณกระแสตรง ถ้าใส่สารที่ไม่แสงขวางทางเดินแสงและสารนี้ดูดกลืนรังสีเซอร์คูลาร์สีโพลาไรส์ d และ e ไม่เท่ากัน เครื่องตรวจหาจะได้สัญญาณแบบกระแสสลับ เครื่องขยายจะขยายผลต่างของสัญญาณ และปรากฏออกมานี้เป็นผลต่างสgapดูดกลืนโมลาร์ของสารที่สนใจ ($\epsilon_e - \epsilon_d$)

การประยุกต์การใช้งาน օอปติกัลโรตาเตอร์ดิสเพอร์ชันและเซอร์คูลาร์ได้ครอบคลุม (Applications of Optical Rotatory Dispersion and Circular Dichroism)

สเปกตรัมของรายละเอียดที่ได้จากการอปติกัลโรตาเตอร์ดิสเพอร์ชัน และเซอร์คูลาร์ได้ครอบคลุม ใช้ศึกษาสารประกอบกัมมันตภาพเชิงแสงที่ไม่ให้สเปกตราในช่วงอัลตราไวโอลেต รูป 13-11 เป็นสเปกตรัมดูดกลืนของหมุนของพีคที่มีการหักกันสนิท ทำให้พีคยก ส่วนเควร์ฟที่ได้จากการหมุนของโมเลกุลและอิเล็กทรอนิกส์ที่เชิงโมเลกุลของสารกัมมันตภาพเชิงแสง ให้รายละเอียดเกี่ยวกับการวิเคราะห์ได้

เคอร์ฟออบติกัลโรตาตอรีดิสเพอร์ชัน ใช้ศึกษาโครงสร้างของ

(ก) กระดองมีโนโพลีเพฟไทร์และโปรตีน

(ข) สารปฏิชีวนะ โครงสร้างเหล่านี้ศึกษาได้จากการเปรียบเทียบกับสารมาตราฐาน
เคอร์ฟออบติกัลโรตาตอรีดิสเพอร์ชัน ยังบอกถึงการจัดตัวขององค์ประกอบต่าง ๆ ในวง
ตำแหน่งของคีโตันชนิดของหมู่ที่แทนที่ในการดอมิโนและอื่น ๆ

เชอร์คูลาร์ไดครอยซ์ม ให้ข้อมูลเกี่ยวกับโครงสร้างของสารอินทรีย์ชีวเคมีและ
สารเชิงซ้อนของโลหะลิแกนด์ แต่มีการประยุกต์ใช้งานน้อยกว่าอปติกัลโรตาตอรีดิส-
เพอร์ชัน

แบบฝึกหัด

- 13-8 นำสารตัวอย่างในโจทย์ข้อ 7 ไปเติมตัวทำละลายแล้ววัดความดูดกลืน ได้ 1.08 องศา ความเข้มข้นของสารประกอบที่มีในสารละลายตัวอย่างมีค่าเท่าใด
- 13-9 จงคำนวณค่าการหมุนจำเพาะของบูรุ่นช์ ถ้าสารนี้มีการหมุน ก = 3.50 องศา เมื่อนำสารมา 9.88 กรัม ละลายในอุทานอล 94.6 กรัม สมมติว่าปริมาณไม่เปลี่ยน เมื่อมีการผสม นำสารละลายไปวัดในเซลล์สารตัวอย่าง 5.0 เซนติเมตร จงหาองค์ประกอบของบูรุ่นช์ในอุทานอล ถ้าสารนี้หมุนมุ่งไป = 115 องศา เมื่อวัดค่าการหมุนในสภาพที่เหมือนกัน
- 13-10 สารอินทรีย์หนัก 1 กรัม เมื่อนำมาละลายในน้ำ 50.0 ลูกบาศก์เซนติเมตร นำสารละลายนี้มาใส่ในหลอดใส่สารตัวอย่าง 20 เซนติเมตร วัดค่าการหมุนมุ่งได้ + 2.6707 องศา ถ้าใช้น้ำประสาจากไอก้อนใส่ในหลอดใส่สารเดิม วัดค่าการหมุนมุ่งได้ + 0.016 องศา จงคำนวณค่าการหมุนจำเพาะของสารนี้
- 13-11 สารประกอบชนิดหนึ่ง 10 กรัม เมื่อนำมาละลายในน้ำและทำให้มีปริมาตร 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร จงหาอิลิปติซิตีเชิงโมเลกุล ถ้านำสารละลายตัวอย่างมาใส่หลอดใส่สารตัวอย่างยาว 10 เซนติเมตร อ่านความสั่งผ่านแสงจากเครื่องสเปกโตรได้ 0.40 สำหรับรังสีเซอร์คูลาร์ลีโพลาไรส์ d และ 0.42 สำหรับรังสีเซอร์คูลาร์ลีโพลาไรส์ e ความเข้มของลำรังสีที่ชนมีค่าเท่ากัน
- 13-12 สารละลายมาตรฐานของสารประกอบ X มีเนื้อสารร้อยละ 20, 50 และ 80 ตามลำดับ ค่าการหมุนจำเพาะของสารตัวอย่างทั้งสามมีค่า 5.95, 5.70 และ 5.44 ตามลำดับ จะต้องใช้สมการใดอยู่ด้วยในการได้คำนวณค่าคงที่
- 13-13 ข้อมูลนี้ได้จากการหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าการหมุนจำเพาะและความเข้มข้นของเทอร์เพนไทน์ ที่ละลายอยู่ในแอลกอฮอลล์

เทอร์เพนไทน์ (กรัม)	แอลกอฮอลล์ (กรัม)	ค่าการหมุนจำเพาะ
10	90	- 37.061
50	50	- 37.566
90	10	- 38.486

- 13-14 การวิเคราะห์ของผสมที่มีองค์ประกอบของเทอร์เพนไทน์ ได้ข้อมูลดังโจทย์ข้อ 17 สารนี้มีเฉพาะเทอร์เพนไทน์เป็นสารกัมมันตภาพซิงแสง เมื่อนำของผสมตัวอย่างชนิดหนึ่งมา 10.0 กรัม ละลายในเอทานอลและเจือจากด้วยเอทานอลจนมีปริมาตรครบ 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร วัดค่าการหมุนمุมของสารละลายโดยใช้เซลล์ยาวยา 20.2 เซนติเมตรได้ – 6.789 องศา จงคำนวณความเข้มข้นโดยประมาณของเทอร์เพนไทน์ในสารตัวอย่าง
- 13-15 น้ำตาลดิบ 10 กรัม นำมาละลายน้ำและเจือจากด้วยน้ำปราศจากไอออนจนมีปริมาตร 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร นำเอกสารนี้ไปใส่เซลล์ยาวยา 20 เซนติเมตร คุณอุณหภูมิให้ได้ 25 องศาเซลเซียส อ่านค่ามุมจากโพลาริเมเตอร์ได้ 12.648 องศา หลังจากการทำการผกผันด้วยกรด นำเอกสารละลายน้ำวัดค่ามุมได้ – 3.922 องศา จงคำนวณร้อยละของซูโครสในน้ำตาลดิบ