หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

เครื่องนับรังสีชนิดซินทิลเลชันในของเหลว

ในการวัดรังสีหลายพลังงานนั้น เครื่องนับรังสีชนิดซินทิลเลชันมีความไว (sensitivity) มากที่สุด จึงสามารถนำมาใช้วัดสารรังสีที่มีปริมาณน้อยมากได้อย่างกว้างขวาง โดยที่ในการวัดนั้น พลังงานจากรังสีที่ปล่อยออกมาจะถูกสารเรืองแสง (scintillator หรือ fluor) ดูดไว้ และปล่อยพลังงานออกมาในรูปของแสง (light photons) ซึ่งจะถูกตรวจนับไว้โดยหลอดทรีฌณแสง (Photomultiplier tube) และเปลี่ยนเป็นกระแสไฟฟ้าสำหรับวิเคราะห์ต่อไป

เครื่องนับรังสีชนิดซินทิลเลชันมี 2 ชนิดใหญ่ ๆคือ เครื่องนับรังสีชนิดซินทิลเลชันในของแข็ง (solid or plastic scintillation counter) และเครื่องนับรังสีชนิดซินทิลเลชันในของเหลว

เครื่องนับรังสีซินทิลเลชันในของเหลวนั้น สารรังสีจะถูกนำมาอยู่ใกล้สารเรืองแสง โดยการนำสารรังสีและสารเรืองแสงมาละลายในตัวทำละลาย (solvent) ที่เหมาะสม เหมาะสำหรับการหาปริมาณรังสีที่มีอำนาจทะลุทะลวงต่ำ เช่น อนุภาคอัลฟา อนุภาคเบตา และรังสีเอ็กซ์พลังงานต่ำ เครื่องมือนี้มี resolving time สั้น จึงสามารถวัดอัตราการสลายตัวสูง ๆ ได้ด้วย

ข้อเสียของเครื่องนับรังสีชนิดซินทิลเลชันในของเหลวก็คือ สารรังสีตัวอย่างควรละลายในตัวทำละลายซึ่งมีเพียงไม่กี่ตัว จึงจะได้ความแม่นยำ (accuracy) สูง สารที่มีน้ำปนจะทำได้ต่อเมื่อตัวทำละลายที่เป็นตัวกลางทำให้น้ำเข้ากับสารเรืองแสงได้ แต่ผลที่ได้จะมีความไว(sensitivity)และความแม่นยำลดลง การวัดก๊าซจะทำได้ต่อเมื่อก๊าซนั้นละลายในสารละลายของสารเรืองแสงได้ สารที่ไม่ละลายจะวัดได้ในรูปของการแขวนลอย(suspension)หรือหลังจากที่จับ (deposit)อยู่บน solid support

แล้ว แต่ความแม่นยำจะลดลงอย่างมาก เมื่อวัดแล้วจะนำสารตัวอย่างกลับมาใช้อีกไม่ได้ จึงไม่สามารถจะนำมาวิเคราะห์ต่อไปได้ ประการสุดท้ายก็คือ ประสิทธิภาพของการวัดจะลดลงถ้ามีสารบางชนิด (contaminating material) ปนอยู่ในตัวอย่าง และแฟคเตอร์ที่ใช้แก้ค่า (correcting factor) จะต้องหาสำหรับตัวอย่างแต่ละตัว

เครื่องนับรังสีชนิดซินทิลเลชันในของเหลวนี้เหมาะสำหรับวัดอนุภาคเบตาที่มีพลังงานต่ำ

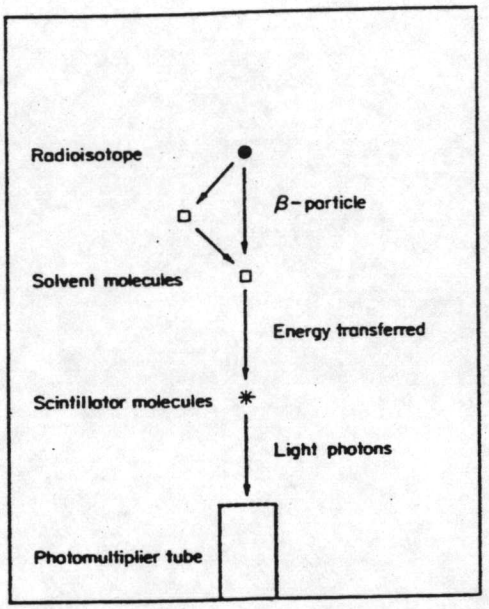
เช่น ^{3}H, ^{14}C และ ^{35}S มากที่สุด

3.1 หลักการของเครื่องวัดรังสีชนิดซินทิลเลชันในของเหลว

การวัดกัมมันตภาพรังสีด้วยเครื่องนับรังสีชนิดนี้ มีการเปลี่ยนแปลงพลังงานรังสีเกิดขึ้น 2 ขั้น คือ

1. พลังงานจากรังสีที่ปล่อยออกมาจะกระตุ้นโมเลกุลของตัวทำละลายที่เหมาะสม (primary solvent) ซึ่งอาจจะไปกระตุ้นโมเลกุลของตัวทำละลายต่อไปอีก (รูป 3.1) จากนั้น พลังงาน (ประมาณ 5 % ของพลังงานจากอนุภาคเบตาเริ่มแรก) จะถ่ายทอดไปยังโมเลกุลของสารเรืองแสงปฐมภูมิที่เหมาะสม (primary scintillator) และปล่อยออกมาในรูปของการเรืองแสง

2. แสงที่เรืองออกมาจะถูกตรวจนับไว้ โดยหลอดทวีคูณแสง และเปลี่ยนเป็น electrical pulses ถ้าแสงที่ปล่อยออกมามีความยาวคลื่นไม่อยู่ในช่วงความไวของหลอดทวีคูณแสง อาจต้องเติมสารเรืองแสงทุติยภูมิ (secondary scintillator) ซึ่งสามารถดูดโฟตอน (photons) ที่มีความยาวคลื่นค่าหนึ่ง และปล่อยแสงที่มีความยาวคลื่นยาวกว่าออกมา



รูป 3.1 แสดงการเปลี่ยนจากพลังงานของอนุภาคเบตามาเป็นแสง
โดยสารเรืองแสง

สารรังสีที่จะทำการวัดต้องผสมกับสารละลายของสารเรืองแสงในภาชนะบรรจุ (vial) ที่โปร่งแสง แล้วยกลงไปในช่องวัด (counting chamber) ที่อยู่ระหว่างหลอดทวีคูณแสง 2 หลอดของเครื่องมือ บริเวณทั้งหมดจะถูกกั้นไว้ด้วยตะกั่วเพื่อขจัดรังสีจากภายนอกและแสงสว่างให้มากที่สุด แสงที่ปล่อยออกมาจากสารเรืองแสงใน counting vial จะไปสู่หลอดทวีคูณแสงโดยตรง หรือไม่ก็สะท้อนจากผนังของช่องวัดซึ่งภายในเคลือบไว้ด้วยสารสะท้อนแสง (reflecting material)

3.2 วงจรของเครื่องมือและหน้าที่ของแต่ละส่วน

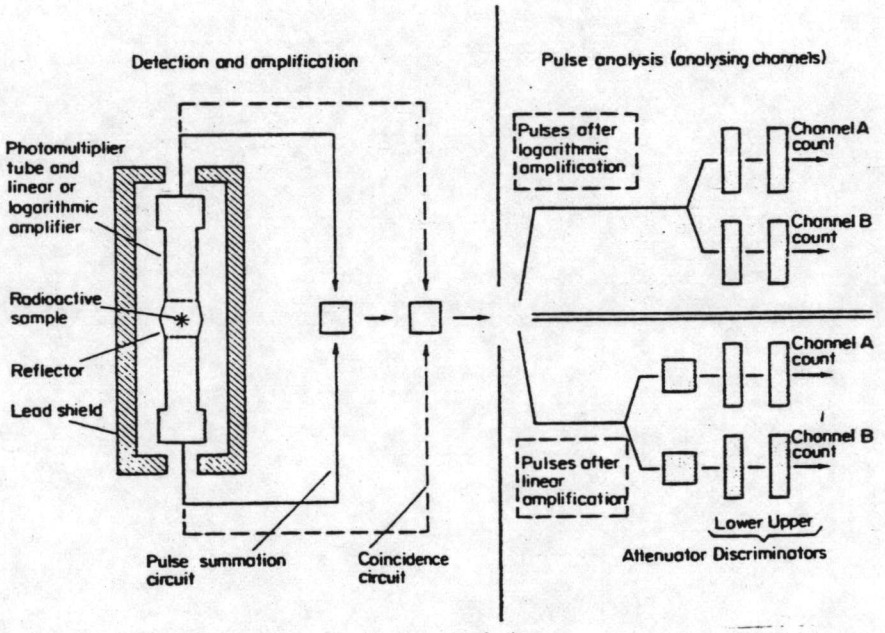
วงจรไฟฟ้าของเครื่องมือที่เกี่ยวกับการตรวจนับแสงเรืองและการกำเนิด pulses แบ่งออกเป็นส่วนใหญ่ ๆ ได้ 2 ส่วน คือ วงจรตรวจนับกับวงจรขยาย (detection and amplification circuit) ส่วนหนึ่งและวงจรวิเคราะห์ pulse (pulse analysis circuit) อีกส่วนหนึ่ง ดังแสดงในรูป 3.2

3.2.1 วงจรตรวจสอบและวงจรขยาย

วงจรนี้จะทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานของแสงเรืองที่ได้จากอนุภาคเบตามาเป็น electrical pulse ที่วัดได้

3.2.1.1 การตรวจนับรังสี

หลอดทวีคูณแสง 2 หลอดจะตรวจสอบแสงเรืองและเปลี่ยนจากพลังงานเป็น pulses ของกระแสไฟฟ้าซึ่งจะถูกขยายต่อไป หลอดนี้เป็นท่อสูญญากาศบรรจุ photocathode และ dynodes 1 ชุด ระหว่าง dynodes จะใช้ความต่างศักย์ไฟฟ้าสูงมาก (high voltage) photocathode เป็นผิวที่ไวต่อแสง ทำด้วย K_2 Cs Sb ซึ่งจะปล่อยอิเลคตรอนออกมาเมื่อมีแสงมาตกกระทบที่ dynodes ซึ่งแต่ละอันจะมีความต่างศักย์เป็นบวกต่อ photocathode ความต่างศักย์นี้จะทำให้เกิดการปล่อยอิเลคตรอนออกมาจาก photocathodeและผ่านไปยัง dynode อันแรก ต่อจากนั้น dynode แต่ละตัวในชุดจะปล่อยอิเลคตรอนออกมามากกว่าจำนวนที่ได้ ผลที่เกิดขึ้นทั้งหมด



รูป 3.2 แสดงแผนผังวงจรของเครื่องนับรังสีชนิดซินทิลเลชันในของเหลว

ก็คือหลอดทวีคูณแสง จะให้ pulse ของกระแสไฟฟ้าออกมาครั้งหนึ่ง ซึ่งจะถูกขยายต่อไป

ในทางปฏิบัติจะใช้หลอดทวีคูณแสง 2 หลอด เพื่อให้ได้ความไวมากขึ้นและมีความแม่นยำมากขึ้น เนื่องจาก background count rate ลดลง โดยการต่อกับวงจรอีก 2 วงจร ดังนี้

3.2.1.1.1 Coincidence circuit

หลอดทวีคูณแสงหลอดเดียวจะทำให้เกิด background count rate จำนวนมากซึ่งประกอบด้วย pulse เทียม (spurious pulses) ซึ่งมี voltage ต่ำ ๆ เกิดจาก photocathodeปล่อยอิเลคตรอนออกมาเอง pulse เทียมนี้สามารถลดจำนวนลงได้ โดยการแช่หลอดให้เย็น ในปัจจุบันจะใช้หลอดทวีคูณแสง 2 หลอดต่อกับ coincidence circuit แทน โดยจะตัด pulses ใด ๆ ที่ไม่ได้เกิดจากการนับของหลอดทั้งสองในเวลาเดียวกัน นั่นคือ ไม่ได้เกิดจากการเรืองแสง

3.2.1.1.2 Pulse summation circuit

pulses ที่ได้จากหลอดทั้งสองในเวลาเดียวกัน จะรวมกันเป็น pulse เดียวก่อนที่จะผ่านไปยังวงจรวิเคราะห์ ซึ่งมีประโยชน์ 2 อย่าง คือ ประการแรก pulse voltage ที่เกิดขึ้นในที่สุดจะมีขนาดใหญ่ขึ้น เนื่องจากpulse voltage แต่ละอันมารวมกัน ประการที่สอง คือ แสงเรืองชนิดเดียวกันจะให้ขนาดของ pulse โตเล็กขึ้นอยู่กับตำแหน่งที่เกิดการเรืองแสงใน counting chamber การตอบสนองของหลอดทวีคูณแสงจะขึ้นอยู่กับปริมาณของแสงที่ตกบนพื้นผิวและระยะทางจากต้นกำเนิดแสง เมื่อแฟคเตอร์อื่น ๆ คงที่ เมื่อวางหลอดทั้งสองไว้ตรงกันข้าม แสงที่เรืองใกล้หลอดหนึ่งจะไกลจากอีกหลอดหนึ่ง ดังนั้น สำหรับแสงที่เรืองค่าหนึ่งนั้น พลังงานทั้งหมดที่ได้รับจากทั้ง 2 หลอด (ซึ่งจะเป็น pulse voltage ทั้งหมด) จึงควรมีค่าคงที่

3.2.1.2 วงจรขยาย (amplification)

ก่อนที่จะมีการตรวจสอบและวิเคราะห์นั้น pulses ที่เกิดจากหลอดทวีคูณแสงจะต้องถูกขยายต่อไปอีกจึงจะวิเคราะห์ได้ การขยายมี 2 แบบ คือ

3.2.1.2.1 linear amplification วิธีนี้ pulse ของกระแสไฟฟ้าจากหลอดทวีคูณแสงจะถูกขยายอย่างสม่ำเสมอจนมีขนาดใหญ่ที่สุด pulse voltage ที่ได้ออกมาจะเป็นอัตราส่วนโดยตรงกับพลังงานของ pulse ของกระแสไฟฟ้า voltage นี้อาจลดลงได้ในวงจรวิเคราะห์โดยการใช้ attenuator เพื่อให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสำหรับการวัด

3.2.1.2.2 logarithmic amplification วิธีนี้ pulse voltage เป็นปฏิภาคกับ logarithmic ของพลังงานของ pulse current ที่เข้ามา ดังนั้น voltage ของ pulses ทั้งหมดจะอยู่ในช่วงที่นับได้โดยไม่ต้องมีการขยายอีกต่อไป

3.2.2 วงจรวิเคราะห์ pulse

เมื่อออกจากวงจรตรวจสอบและวงจรขยายแล้ว pulse จะผ่านไปยังช่องวิเคราะห์ (analysing channel) แต่ละช่องจะมี attenuation control (ใน logarithmic amplifier ไม่มี) ซึ่งจะปรับ pulse voltage และมี discrimination controls ที่จะเลือก pulse ตาม voltage

voltage ของแต่ละpulse จะเป็นปฏิภาคกับพลังงานของอนุภาคเบตาเริ่มแรก ดังนั้น pulses จะแสดงช่วงของ voltage ซึ่งเป็น energy spectrum ตั้งต้นของอนุภาคเบตา analysing channel จะใช้ในการเก็บและตรวจสอบเฉพาะส่วนของสเปคตรัมของอนุภาคเบตาที่เลือกมา

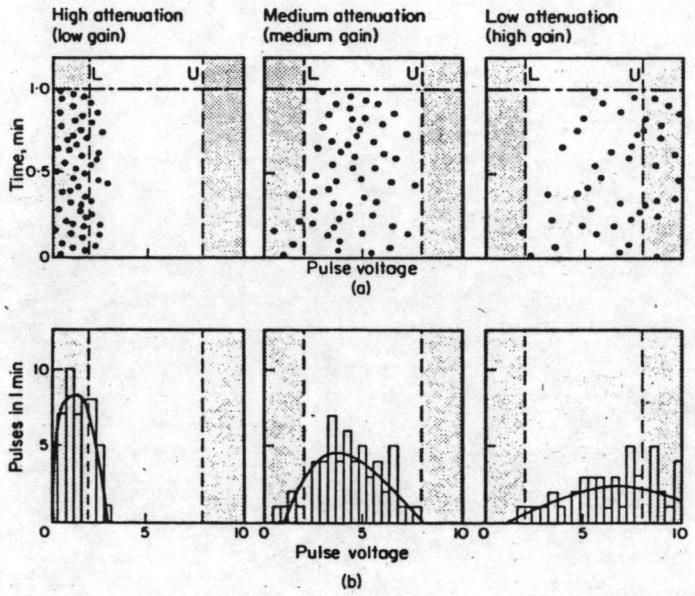
เครื่องมือแต่ละเครื่องจะมีช่องสำหรับวิเคราะห์ได้หลายช่อง แต่ละช่องสามารถนับ pulse ได้อย่างอิสระและพร้อมกัน

3.2.2.1 Attenuation

เครื่องมือที่ใช้ linear amplification อาจต้องลด voltage ลงให้อยู่ในช่วงที่จะวิเคราะห์ได้โดยการใช้ attenuator ซึ่งมักเรียกว่า gain control ขณะที่การลด (attenuation) เพิ่มขึ้น pulse voltage จะลดลง

ผลของ attenuation ภายหลัง linear amplification ได้แสดงไว้ในรูป 3.3(a) ซึ่งแต่ละรูปจะแสดง pulses ที่เกิดขึ้นภายในช่วงเวลา 1 นาที แต่ละจุดแทน 1 pulse ในขณะที่เกิดขึ้นโดยพลอตกับขนาดของ pulse (pulse voltage) รูปด้านขวาสุดจะแสดงให้เห็นว่า voltageของ pulses จำนวนหนึ่งอาจจะกระจัดกระจายออกไปจากช่วงที่วัด (ขนาด pulse L ถึง U) pulse voltageนี้จะสัมพันธ์กับพลังงานของอนุภาคเบตา ถ้าเพิ่ม attenuation (ลด gain) pulse voltage จะลดลง (รูปกลางและรูปด้านซ้าย) รูป 3.3(b) เป็นการพลอตของจำนวน pulse ที่เกิดขึ้นใน 1 นาทีกับขนาดของ pulse ในรูปของฮิสโตแกรม ซึ่งเมื่อลากเส้นผ่านค่าของฮิสโตแกรมจะได้ pulse voltage spectrum

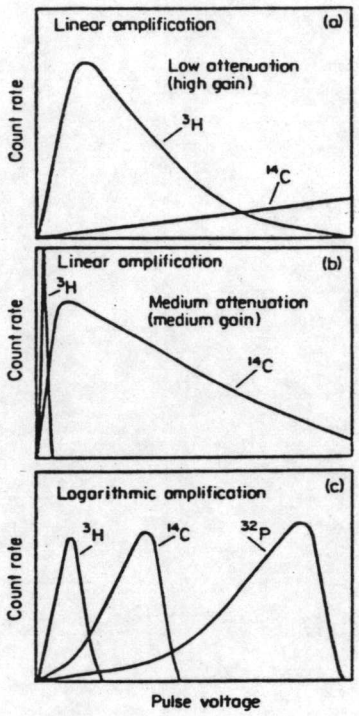
รูปของสเปคตรัมไม่ได้ขึ้นอยู่เฉพาะกับ attenuation เท่านั้น แต่ขึ้นกับพลังงานของอนุภาคเบตาของสารรังสีที่วัดด้วย ซึ่งแสดงในรูป 3.3 (a และ b) สเปคตรัมของ ^{3}H (อนุภาคเบตามีพลังงานต่ำ) และ ^{14}C (อนุภาคเบตามีพลังงานสูงขึ้น) จะซ้อนกัน จะเกิดในกรณีที่ทำการทดลองกับเครื่องมือที่ใช้ linear amplification ถ้าใช้ attenuation ต่ำ ๆ (a) สเปคตรัมของ ^{3}H จะอยู่ในช่วงพอเหมาะ ในขณะที่ ^{14}C pulse ส่วนใหญ่จะอยู่ที่ voltage สูงขึ้น (ออกนอกไดอะแกรมไปทางขวามือ) ถ้า attenuation เพิ่มขึ้น (gain ลดลง) voltage ของ pulse จาก ^{14}Cจะลดลงจนอยู่ในช่วงซ้ายมือ ในขณะที่ ^{3}H จะมาอยู่ในช่วงต่ำมาก ๆ



รูป 3.3 แสดงผลของ attenuation ที่มีต่อ pulse voltage ในเครื่องมือที่มี linear amplification และใช้ discriminators

a) แสดงจำนวน pulses ที่เกิดขึ้นใน 1 นาที เมื่อ attenuation เพิ่มขึ้น (รูปจากกวาไปซ้าย) ขนาดของ pulse (pulse voltage) จะเพิ่มขึ้น

b) แสดงลักษณะของ pulses จาก (a) ในรูปของ histogram เส้นโค้งที่ลากผ่านจะแสดงถึง pulse voltage spectra



รูป 3.4 แสดงสเปคตรัมของ pulse voltage ที่ได้จากเครื่องมือที่ใช้ linear และ logarithmic amplification

a) ใช้ linear amplification โดยปรับ low attenuation ในการวัด ^{3}H จะมี pulse ของ ^{14}C เพียงเล็กน้อยเท่านั้น

b) ใช้ linear amplification โดยปรับ medium attenuation ในการวัด ^{14}C ส่วน ^{3}H pulses ที่วัดได้จะมีขนาดเล็กกว่านั้น

c) ใช้ logarithmic amplification โดยปรับ high attenuation

รูป 3.4(c) แสดงให้เห็นว่าสเปคตรัมของ ^{3}H และ ^{14}C อาจปรากฏอยู่ใน logarithmic amplification ได้ รวมถึงสารรังสีอื่น ๆ คือ ^{32}P ซึ่งอนุภาคเบตามีพลังงานสูงขึ้น สเปคตรัมของสารรังสีทั้งสามจะอยู่พอเหมาะภายในช่วงของเครื่องมือ โดยไม่ต้องปรับอีกต่อไป ถ้าจะวัด ^{3}H อย่างเดียว gain ของวงจรตรวจนับอาจต้องเพิ่มขึ้นมาก ซึ่งจะขยายสเปคตรัมทั้งหมดไปทางขวา เป็นการขยายสเปคตรัมของ ^{3}H

3.2.2.2 Discrimination (pulse selection)

หลังจากปรับ attennuationแล้ว pulse ในช่วง voltage ที่ต้องการจะถูกวงจรไฟฟ้าเรียก discriminators เลือก เพื่อนับแต่ pulse ที่ต้องการและตัด pulses อื่น ๆ ออกไป

แต่ละช่วงที่วิเคราะห์มี discriminator 2 อัน คือ lower discriminator (บางทีเรียก lower level, lower threshold หรือ threshold) ซึ่งจะจำกัด voltage ค่าต่ำ (lower voltage limit) ของ pulse ที่จะนับ และ discriminator (บางทีเรียก upper level, upper threshold หรือ window) ซึ่งจะจำกัดค่า voltage สูงสุด (upper voltage limit) การนับ pulse ระหว่างค่าที่ตั้งไว้ โดย discriminator เรียก differential counting และช่าง voltage ระหว่าง discriminator ทั้งสองเรียก window อย่างไรก็ดี ก็ยังนิยมนับ pulses ทุกขนาดที่อยู่เหนือค่าต่ำที่ตั้งไว้ โดย threshold ส่วน window จะมีค่า infinite volts เรียกว่า integral counting

จากรูป 3.3 นั้น lower และ upper discriminators จะแทนด้วยเส้น 2 เส้นในแนวดิ่ง ณ ตำแหน่ง 2V และ 8V ตามลำดับ เฉพาะ pulses ภายใน window ซึ่งแทนด้วยพื้นที่ตรงกลางเท่านั้นที่จะถูกนับ

เหตุผลอื่น ๆ ที่ใช้ discriminators คือ

1. เพื่อขจัด background pulses ซึ่งมี voltage ต่างไปจาก pulses ที่กำลังตรวจสอบอยู่

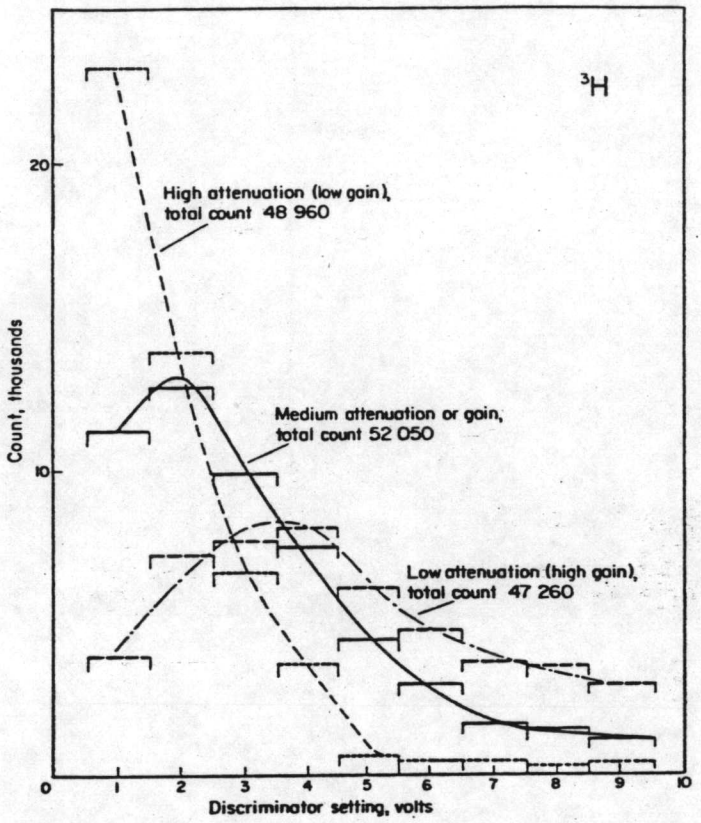
2. เพื่อเลือกเฉพาะส่วนของ pulse voltage spectrum ในการวิเคราะห์กับรังสีที่ปนกันหลาย ๆ ตัว

การหา pulse voltage spectrum อย่างหยาบ ๆ ทำได้โดยการใช้ discriminators ดังแสดงในภาพ 3.5 ซึ่งแสดงสเปคตรัมของ ^{3}H ที่ gain control ทั้งสาม โดยตั้ง attenuator แต่ละอันไว้ที่ค่าหนึ่ง แล้วตั้ง discriminator ขยับไปทีละ 1 โวลท์ในแต่ละช่วงเวลา จนสุดช่วงโวลท์เตจแล้วทำการนับ จากค่าที่นับได้จะสามารถสร้างฮีสโตแกรมได้ เมื่อลากเส้นผ่านฮิสโตแกรมจะได้สเปคตรัมที่ต้องการ

3.3 Balance point

ถ้าเพิ่ม attenuation มากขึ้น pulse voltage spectrum จะเคลื่อนผ่าน window ซึ่งตั้งค่าจำกัดไว้ ดังในรูป 3.3 และ 3.5 ซึ่งจะเห็นได้ว่า มีการตั้ง attenuator ไว้เพื่อให้ได้จำนวน pulse มากที่สุดอยู่ใน window จะได้ count rate มีค่าสูงที่สุด การตั้งแบบนี้เรียก balance point ในภาพทั้งสองนั้น balance point จะตรงกับการตั้งไว้ที่ medium attenuation

balance point นี้ไม่สามารถจะนำมาใช้กับเครื่องมือชนิด logarithmic amplification ได้ เนื่องจากไม่มีปุ่มปรับ attenuation ในช่วงที่วิเคราะห์ ข้อดีของการปรับ balance point ในการนับแบบ differential counting คือ จะทำให้ได้ count rate สูงสุดของตัวอย่างภายใน window ที่ตั้งไว้ และลดข้อผิดพลาด เนื่องจากความไม่อยู่ตัว (instability) ของวงจรไฟฟ้า การเปลี่ยนแปลง



รูป 3.5 แสดงผลของ attenuation (gain) ที่มีต่อ pulse voltage spectrum ของ ^3H โดยตั้ง attenuation ไว้ที่ gain ต่าง ๆ และตั้ง discriminator เปลี่ยนไปเรื่อย ๆ ครั้งละ 1 โวลท์

ในการขยายในวงจรตรวจสอบ จะทำให้ pulse voltage ทั้งหมดเกิดการเลื่อน (shift) ดังนั้น จะทำให้ count rate เปลี่ยนแปลงไปได้ ที่ balance point จะมีการเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุด

3.4 การตั้งเครื่องมือให้ได้การนับรังสีที่ดีที่สุด

ในการนับสารตัวอย่าง จะต้องนับ count rate ให้ได้ค่าสูงสุด โดยมีการรบกวนจากแบคกราวน์น้อยที่สุด อัตราการนับของแบคกราวน์จะมีผลต่อการตั้งเครื่องมือ ยิ่งใช้ window มากขึ้นเท่าไร แบคกราวน์ก็จะเกี่ยวข้องด้วยมากขึ้นเท่านั้น การนับในช่วงภายใน window (differential counting) จะให้ค่าอัตราการนับของแบคกราวน์ลดลงกว่าการนับโดยไม่กำหนดช่วงของโวลท์เตจ (integral counting)

3.5 ประสิทธิภาพของการนับและเควนชิง (counting efficiency and quenching)

ประสิทธิภาพของการนับขึ้นกับแฟคเตอร์หลายประการ ได้แก่

3.5.1 แฟคเตอร์เกี่ยวกับเครื่องมือ เช่น

3.5.1.1 ความไวของเครื่องมือ (instrument sensitivity) บางครั้งหลอดทวีคูณแสงไม่สามารถขยายแสงที่มาจากแสงเรืองได้ แต่ไม่ได้หมายความว่าหลอดทวีคูณแสงไม่มีความไวในการตรวจสอบแสงนั้นเลย แต่ความยาวคลื่นของแสงเรืองที่ปล่อยออกมานั้นไม่อยู่ในช่วงความไวของหลอด กรณีนี้แก้ได้โดยการใช้สารเรืองแสงทุติยภูมิ

3.5.1.2 Linearity of response ในการวัดสารรังสีที่มีความแรงรังสีสูง ๆ นั้น บางครั้งอัตราการนับที่ได้อาจจะไม่เพิ่มขึ้นเป็นปฏิภาคโดยตรงกับความแรงรังสี จึงต้องมีการตรวจสอบอย่างง่าย ๆ ก่อน โดยการนับรังสีสารมาตรฐานที่มีอัตราการนับค่า ๆ หนึ่งก่อน และเจือจางสารมาตรฐานลงครึ่งหนึ่ง ถ้าใช้ปริมาณเท่าเดิม

อัตราการนับ ควรจะเป็นครึ่งหนึ่งของครั้งแรก

3.5.1.3 อุณหภูมิ กรณีที่ช่องวัดต้องแช่เย็น การนับสารตัวอย่างที่มีความแรงรังสีต่ำ ๆ ควรจะทิ้งไว้ในช่วงนับประมาณ 30 นาทีก่อนการนับ เพื่อให้อุณหภูมิลดลงให้สมดุลย์กับช่องนับก่อน

3.5.2 แฟคเตอร์ที่เกี่ยวกับสิ่งที่บรรจุอยู่ภายในภาชนะบรรจุ เช่น

3.5.2.1 สารที่บรรจุอยู่ใน vial ต้องมีปริมาตรพอเหมาะ คือ ประมาณ 10-15 ลบ.ซม. ซึ่งเป็นปริมาตรที่ตำแหน่งของสารละลายจะอยู่พอเหมาะตรงหน้าหลอดทวีคูณแสง ถ้าปริมาตรมากหรือน้อยเกินไปจะทำให้อัตราการนับลดลงได้ กรณีที่ใช้วิธี external standard ประสิทธิภาพของการวัดรังสีจะขึ้นกับปริมาตรอย่างมาก เนื่องจากยิ่งสารละลายมีปริมาตรมาก จำนวนโมเลกุลที่ถูกกระตุ้นก็จะยิ่งมีมากขึ้น

3.5.2.2 พลังงานของอนุภาคเบตา ถ้ามีพลังงานสูง ประสิทธิภาพของการวัดจะมีมากขึ้น เช่น ^{3}H (พลังงานสูงสุด 0.018 MeV) จะมีประสิทธิภาพในการวัดไม่เกิน 60 % ในขณะที่ประสิทธิภาพของการวัด ^{14}C (พลังงานสูงสุด 0.159 MeV) มีค่ามากกว่า 90 % ในสภาวะที่เหมาะสม

3.5.2.3 quenching หมายถึง สิ่งใด ๆ ก็ตามที่รบกวนการเปลี่ยนจากพลังงานของอนุภาคเบตาเป็นแสงที่เรืองออกมา หรือลดการผ่านของแสงลง ทำให้แสงไปถึงหลอดทวีคูณแสงน้อย เป็นผลให้ตรวจนับแสงที่เรืองได้น้อยลง และ pulse ที่เกิดขึ้นจะมี voltage ลดลง ในที่สุด ประสิทธิภาพที่ได้จะลด และ pulse voltage spectrum ทั้งหมดก็จะเลื่อนลงมายังช่วง voltage ต่ำลง quenching นี้เป็นปัญหาสำคัญที่สุดในเรื่องของการนับรังสีด้วยวิธีนี้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งกรณีของสารชีววิทยา สาเหตุของ quenching มีดังนี้

1. องค์ประกอบบางอย่างของสารละลายเรืองแสง

ประสิทธิภาพของการนับสารรังสีที่สูงสุดได้จากการละลายสารตัวอย่างในตัวทำละลายและสารเรืองแสงเท่านั้น แต่ถ้าเติมสารอื่นลงไปอีกก็จะเกิด quenching ขึ้น ซึ่งอาจจะเกิดได้ 2 แบบ คือ

ก. โดยการรบกวนการถ่ายทอดพลังงานจากอนุภาคเบตาไปยังสารเรืองแสง พลังงานบางส่วนอาจถูกสารรบกวนนี้ดูดไว้ (chemical quenching) และกระจาย (dissipate) ออกมาในรูปของความร้อน สารที่ทำหน้าที่เช่นนี้ ได้แก่ คีโตน (ketones), อามีน (amines) และสารประกอบฮาโลจีน อีกกรณีหนึ่งคือ พลังงานบางส่วนอาจถูกกีดกันไม่ให้ไปถึงโมเลกุลของสารเรืองแสง เนื่องจาก diluting effect (dilution quenching) ของสารประกอบพวก อัลลิฟาติค อีเธอร์ (aliphatic ethers), เอสเตอร์ (esters)และอัลกอฮอล์ ผลที่เกิดขึ้นทั้งหมดของทั้งสองกรณีก็คือ พลังงานที่จะไปถึงสารเรืองแสงลดลง แต่ chemical quenchingจะมีผลมากกว่า เป็นที่น่าสังเกตว่าออกซิเจน น้ำ กรดและด่างเป็น quenching agent ที่แรงมาก

quenching agent นี้จะมีผลต่อประสิทธิภาพในการวัดพวกอนุภาคเบตาที่มีพลังงานต่ำมากกว่าพวกที่มีพลังงานสูง

ข. โดยการรบกวนการถ่ายทอดแสงจากสารเรืองแสงไปยังหลอดทวีคูณแสง กรณีเช่นนี้มักเกิดกับสารละลายที่มีสี ซึ่งจะดูดแสงที่ปล่อยออกมาจากสารเรืองแสง เรียกว่า colour quenching สารละลายสีแดงจะเกิดผลมากที่สุด ส่วนสารละลายสีน้ำเงิน (blue) จะเกิดผลน้อยมาก

นอกจากนั้น ฝุ่นผงและรอยขีดข่วนบน vial ก็ยังดูดแสงที่ปล่อยออกมาได้ด้วย vial ชนิดพลาสติกจะทำให้ประสิทธิภาพในการนับลดลง เนื่องจากแสงผ่านได้น้อยกว่าแก้ว

2. Self-quenching

สารรังสีเองก็อาจเกิด quenching ตัวเองได้เช่นกัน ถ้ามีคุณสมบัติเป็น quenching agent เช่น radioactive chloroform หรือแม้แต่ tritiated water (^3H_2O)

ลักษณะทางกายภาพก็ทำให้เกิด quenching ได้ เช่น การที่สารละลายไม่หมด พลังงานของอนุภาคเบตา ที่ปล่อยออกมาจะถูกส่วนที่เป็นของแข็งดูดไว้ก่อนที่จะไปกระตุ้นโมเลกุลของตัวทำละลายปฐมภูมิรอบ ๆ กรณีเช่นนี้ เรียก self-absorption

3. Surface absorption

ถ้าโมเลกุลของสารรังสีถูกดูดติดกับผิวของ counting vial หรือกับของแข็งอื่น ๆ ใน vial จำนวนแสงเรืองที่เกิดจากโมเลกุลเหล่านี้อาจจะลดลงได้ถึงครึ่งหนึ่ง โมเลกุลของสารรังสีที่ละลายในสารละลายเรืองแสงจะถูกของไหล (fluid) ล้อมรอบ ดังนั้น มุมตัน (solid angle) ที่อยู่ตรงข้ามกับโมเลกุลนี้จะเป็น 4π แต่ถ้าถูกดูดติดกับผิวเรียบ ๆ แล้วจึงแตะกับของไหลเพียงด้านเดียว มุมตันตรงข้ามจะเป็น 2π ดังนั้น พลังงานของอนุภาคเบตาที่ผ่านโดยตรงไปยังสารละลายเรืองแสง จะลดลงครึ่งหนึ่ง สภาพการแบบแรกเรียก การนับแบบ 4π (หรือ 4pi) ขณะที่แบบหลังเรียก การนับแบบ 2π (หรือ 2pi)

3.5.2.4 การละลายเป็นเนื้อเดียวกันของสารใน Vial

ถ้าสารใน vial คือ สารละลายเรืองแสงและสารละลายของตัวอย่างไม่ละลายเป็นเนื้อเดียวกัน เช่น โทลูอีนและน้ำ จะแยกออกเป็น 2 ชั้น อัตราการนับจะลดลง เนื่องจากโมเลกุลของสารรังสีแยกออกจากตัวทำละลายปฐมภูมิ และโมเลกุลของสารเรืองแสง

I15606715

3.5.2.5 การตกตะกอนระหว่างการนับรังสี

ถ้าสารรังสีในสารละลายเรืองแสง เกิดตกตะกอนลงมา ซึ่งอาจจะมองไม่เห็นด้วยตาเปล่า แต่จะสังเกตได้จากอัตราการนับที่ลดลง

3.6 สารละลายเรืองแสง

สารละลายเรืองแสงที่ดีต้องมีคุณสมบัติดังนี้

1. ต้องใส ไม่มีสี และเมื่อเติมสารรังสีลงไปแล้วต้องเป็นเนื้อเดียวกัน บางกรณีอาจเกิดการแขวนลอย (suspension) หรือเจล (gel) ก็ได้

2. จะต้องเกิด quenching น้อยที่สุด โดยเฉพาะเมื่อใช้วัดสารรังสีที่ให้อนุภาคเบตาพลังงานต่ำ ๆ

3. ราคาไม่แพง

4. องค์ประกอบต้องเสถียร สารเรืองแสงบางตัวเมื่อถูกแสงจะไม่เสถียร และบางตัวเมื่อทิ้งไว้จะเกิดสิ่งเจือปนขึ้นมาอันทำให้เกิด quenching หรือ chemiluminescence ดังนั้น จึงควรเก็บสารละลายเรืองแสงไว้ในขวดสีชา

สารละลายเรืองแสงที่ง่ายที่สุดประกอบด้วย สารเรืองแสงปฐมภูมิ ถ้าจำเป็นอาจต้องมีสารละลายเรืองแสงทุติยภูมิ) จะลายในตัวทำละลายปฐมภูมิ

ตัวทำละลายปฐมภูมิที่ใช้กันแพร่หลายที่สุด คือ โทลูอีน นอกจากนั้น ยังมี para และ meta และ mixed Xylene ส่วนตัวอื่น ๆ มีราคาแพงและไม่ได้มีข้อดีกว่าโทลูอีนมากนัก โทลูอีนที่ใช้เป็นชนิดที่ใช้ในห้องปฏิบัติการก็เพียงพอ

สารเรืองแสงปฐมภูมิที่ใช้กันมากมี 2 ตัว คือ PPO (2, 5-diphenyl-oxazole) และ butyl-PBD (2-(4'-tert'butylphenyl)-5-(4"-biphenyl)

-1, 3, 4-oxadiazole) PPO มีราคาถูกกว่า butyl-PBD เล็กน้อย butyl-PBD จะให้ pulse voltage สูงกว่า PPO ประมาณ 20 % แต่มีข้อเสียที่สารรังสีละลายได้น้อย ต้องเติม solubiliser ซึ่งอาจทำให้เกิด colour quenching ได้อย่างมาก เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาระหว่าง butyl-PBD กับ solubiliser บางตัว

ความเข้มข้นที่เหมาะสมของ PPO และ butyl-PBD คือ 5 กรัม/ลิตร และ 7 กรัม/ลิตร ตามลำดับ กรณีที่สารตัวอย่างเกิด quenching สูงมาก อาจต้องใช้ความเข้มข้นสูงขึ้นเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพที่พอเหมาะ

ในกรณีที่ความยาวคลื่นของสารเรืองแสงปฐมภูมิที่ปล่อยออกมา ไม่เข้ากับความยาวคลื่นที่หลอดทวีคูณแสงจะรับได้ไว (sensitive) ที่สุด อาจต้องเติมสารเรืองแสงทุติยภูมิลงไป สารเรืองแสงทุติยภูมิที่ใช้กันแพร่หลาย คือ POPOP (1, 4-di- 2-(5-phenyl-oxazolyl) -benzene) และ dimethyl-POPOP (1, 4-di- 2-(4-methyl-5 phenyl oxazolyl) -benzene โดยใช้ความเข้มข้นต่าง ๆ กัน จาก 0.05-0.5 กรัม/ลิตร ปกติมักใช้ 0.1 กรัม/ลิตร POPOP ละลายได้น้อยกว่า แต่ราคาถูกกว่า

3.7 การเตรียมสารตัวอย่าง

กรณีที่สารตัวอย่างละลายน้ำ จะไม่ละลายกับตัวทำละลายปฐมภูมิ จำเป็นต้องเติมตัวทำละลายทุติยภูมิที่ละลายทั้งในน้ำและตัวทำละลายปฐมภูมิ ตัวทำละลายทุติยภูมิ ได้แก่ cellosolve (2-ethoxy-ethanol) และ "Triton X-100"

นอกจากนั้น อาจเตรียมสารที่จะนับรังสีให้อยู่ในรูปของ เจล ได้ ในกรณีที่มีน้ำปนมาก ๆ แต่ประสิทธิภาพของการนับจะลดลง พวกเกลืออนินทรีย์อาจนับด้วยวิธีแขวนลอยอยู่ในเจล (suspension in a gel) ส่วนเกลือบางตัว เช่น ^{45}Ca,

^{55}Fe อาจเปลี่ยนรูปให้เป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่ละลายในโทลูอีนได้

สารรังสีบางตัวอาจเกาะบนของแข็ง (solid support) เช่น glass fibre discs กระดาษโครมาโตกราฟฟี, กระดาษกรอง อาจนับรังสีได้โดยการนำมาวางใน vial ชนิดแก้วแล้วเติมสารละลายเรืองแสง การใช้วิธีนี้ประสิทธิภาพในการนับจะค่อนข้างต่ำ

3.8 การหาประสิทธิภาพของการนับ (quenching correction)

การหาประสิทธิภาพของการนับรังสีด้วยเครื่องวัดรังสีชนิดซินทิลเลชันในของเหลว ต้องใช้สารรังสีมาตรฐาน (radioactive standard) ซึ่งมี 2 ชนิด คือ

ก. internal standard

เป็นสารรังสีที่ให้อนุภาคเบตาที่ทราบความแรงรังสีแน่นอนแล้ว ใช้ในการ calibrate และถ้าละลายในสารละลายเรืองแสงที่ไม่มีการ quenching (unquenched scintillation mixture) เรียก reference standard

ข. external standard

เป็นสารรังสีที่ให้รังสีแกมมา ใช้ในเครื่องมือส่วนมาก

Reference standard ที่ใช้กันทั่วไป ประกอบด้วยสารเรืองแสง ละลายในตัวทำละลายปฐมภูมิที่มี ^{14}C หรือ ^{3}H จำนวนเล็กน้อย แล้วปิด vial ให้สนิทอย่างถาวร ใช้เฉพาะตรวจสอบการทำงานของเครื่องมือเท่านั้น จะใช้ในการหาประสิทธิภาพจากการทดลองกับสารตัวอย่างไม่ได้

internal standard ใช้ในการหาประสิทธิภาพของการนับ โดยการเติมลงใน vial ที่มีสารตัวอย่าง เป็นวิธีโดยตรง หรือเตรียมแยกกันเพื่อหา calibration

curve ซึ่งเป็นวิธีโดยอ้อม internal standard ควรละลายในสารละลายเรืองแสงได้หมด ปริมาณที่ใช้ไม่ทำให้เกิด quenching มีความแรงรังสีจำเพาะ (specific activity) สูง เสถียรและอยู่ในสภาพของเหลวที่เตรียมได้ง่าย

quenched standard ประกอบด้วยชุดของ vials ที่บรรจุ internal standard ที่ทราบปริมาณแน่นอน กับ quenching agent ปริมาณต่าง ๆ กัน ใช้ในการหาประสิทธิภาพของการนับทางอ้อม จะได้สารมาตรฐาน 1 ชุดที่ทราบอัตราการสลายตัว และมีประสิทธิภาพของการนับต่าง ๆ กัน เนื่องจาก quenching agent

external standard เป็นสารรังสีที่ให้รังสีแกมมา ปกติมักอยู่ในเครื่องซินทิลเลชันในของเหลว โดยเก็บไว้ที่ระยะห่างจากช่องนับและกั้นรังสีไว้ เมื่อต้องการใช้ จะนำมาวางไว้ใกล้กับ vial ก็จะนับรังสีโดยอัตโนมัติ ปฏิกิริยาระหว่างรังสีแกมมากับออร์บิทอลอิเลคตรอนของโมเลกุลของตัวทำละลายใน vial จะทำให้เกิด photoelectric effect, Compton effect หรือ pair production ผลก็คือได้อิเลคตรอนหรือรังสีเอกซ์เกิดขึ้น ทำให้เกิดการเรืองแสงได้ external standard นี้ใช้เป็นต้นกำเนิดรังสีเท่านั้น ไม่ได้ใช้ในการ calibration ที่นิยมใช้กันแพร่หลาย ก็คือ ^{137}Ba, ^{137}Ca และ ^{226}Ra

3.8.1 การหาประสิทธิภาพของการนับด้วยวิธีตรง ได้แก่ วิธีเติม internal standard (Added internal standard หรือ 'spike' method)

วิธีการนี้เหมาะสำหรับตัวอย่างจำนวนน้อย ๆ มีหลักการ คือ เติมสารรังสีมาตรฐานลงในสารตัวอย่าง สารมาตรฐานจะถูกนับด้วยประสิทธิภาพเดียวกันกับสารตัวอย่าง อัตราการนับทั้งหมดของสารมาตรฐานหลังจากเติมลงในตัวอย่างแล้วอย่างน้อยควรเป็น 10 เท่าของตัวอย่าง

ตัวอย่าง

1. อัตราการนับของ ^{3}H-labelled compound ตัวอย่าง 10,000 cpm
2. เติม 20 mg ^{3}H-n-hexadecane internal standard (ความแรงรังสีจำเพาะ 3,500 dpm/mg)
3. อัตราการนับทั้งหมด (ตัวอย่าง + สารมาตรฐาน) 34,000 cpm
4. จำนวนนับของสารมาตรฐาน 34,000-10,000 = 24,000 cpm
5. อัตราการสลายตัวของสารมาตรฐานที่เติม 3,500x20 = 70,000 dpm
6. ประสิทธิภาพของการนับ $\frac{24,000}{70,000} \times 100$ = 34.3 %
7. ความแรงรังสีสารตัวอย่าง $10,000 \times \frac{100}{34.3}$ = 29,150 dpm

ข้อดีของวิธีการ added internal standard

1. วัดประสิทธิภาพของตัวอย่างแต่ละตัวได้โดยตรง
2. การปรับเครื่องมือและวิธีการทำสามารถทำได้ง่าย
3. ใช้เฉพาะช่องที่ทำการวิเคราะห์ (analysing channel)
4. ใช้ได้กับกรณีที่เกิด colour quenching, chemical และ dilution quenching

ข้อเสียของวิธีการนี้

1. ไม่เหมาะที่จะใช้วัดประสิทธิภาพสำหรับตัวอย่างที่ละลายไม่หมด เนื่องจาก quenching ของตัวอย่างจะต่างไปจากสารมาตรฐาน
2. เสียเวลาในการทำเพราะต้องเติมสารมาตรฐานลงในแต่ละ vial แล้วนับอีกครั้งหนึ่ง

3. หลังจากเติมสารมาตรฐานแล้ว ไม่สามารถตรวจสอบอัตราการนับของตัวอย่างได้อีก

4. ราคาแพง โดยเฉพาะอย่างยิ่งกรณีที่ตัวอย่างมีความแรงรังสีสูง

5. ถ้าเครื่องมือไม่เสถียร (instrument instability) อาจเกิดข้อผิดพลาดได้ หากการวัดทั้งสองช่วงเวลาน่านเกินไป โดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับการหาประสิทธิภาพของพวกที่มีการนับจำนวนน้อย ๆ

6. ในการทำต้องเปิด vial ซึ่งเสี่ยงต่อการเปื้อนรังสีของเครื่องมือ

3.8.2 การหาประสิทธิภาพของการนับด้วยวิธีอ้อม มี 3 วิธี คือ

3.8.2.1 วิธีการนับโดยการใช้สารมาตรฐานภายนอก (external standard counts method)

วิธีนี้มีหลักการเหมือนกับวิธีตรง โดยเริ่มจากการหาอัตราการนับของexternal standard ใน quenched standard แต่ละชุดซึ่งหาประสิทธิภาพของการนับแต่ละอันไว้แล้ว นำอัตราการนับที่ได้มาสร้าง quenched correction curve กรณีที่ใช้กับตัวอย่างที่ไม่ทราบความแรงรังสี จะหาประสิทธิภาพของการนับได้จาก curve วิธีการนี้ทำได้ 2 แบบ คือ

ก. วิธีนับช่องเดียว

ตัวอย่างจะนับในช่องเดียว การนับทำแบบ differential count โดยครั้งแรกไม่ใช้ external standard และต่อไปใช้ ผลต่างของอัตราการนับจะเนื่องมาจาก external standard วิธีการนี้มักใช้กับ ^{226}Ra

ข. วิธีการนับสองช่อง (Two-channel method)

วิธีการนี้เหมาะสำหรับ pulse ขนาดใหญ่ที่ได้จาก external standard

ที่มีขนาดของ pulse โตกว่าที่ได้จากการวัดตัวอย่าง ปกติจะใช้กับกรณีของ ^{226}Ra ที่ใช้กับ ^{3}H และ ^{14}C โดยที่ช่องหนึ่งจะปรับให้นับรังสีจากตัวอย่าง ส่วนอีกช่องหนึ่งนับเฉพาะ pulse ที่ได้จาก external standard

ข้อดีของวิธีการนับโดยใช้สารมาตรฐานภายนอก คือ ไม่มีการเติมสารใด ๆ ลงในที่วัดตัวอย่าง จึงสามารถนำตัวอย่างกลับมานับใหม่ได้อีก

ข้อเสียของวิธีการนี้

1. ไม่เหมาะที่จะใช้หาประสิทธิภาพของการนับตัวอย่างที่ละลายได้ไม่หมด เนื่องจาก quenching ส่วนใหญ่ เกิดจากการที่ส่วนที่ไม่ละลายดูดพลังงานจากอนุภาคเบตาไว้ และ external standard จะมีผลต่อ quenching เริ่มแรกของสารละลายเท่านั้น
2. มีความแม่นยำน้อย อาจมีความผิดพลาดในการใช้ external standard ได้
3. quenched correction curve ขึ้นอยู่กับสารละลายเรืองแสงชนิดเดียวจะนำมาใช้กับชนิดอื่นไม่ได้
4. ต้องใช้ quenched standard หลายตัว
5. เมื่อใช้ vial ชนิดพลาสติกจะไม่มีความแม่นยำ

3.8.2.2 Sample channel ratio method

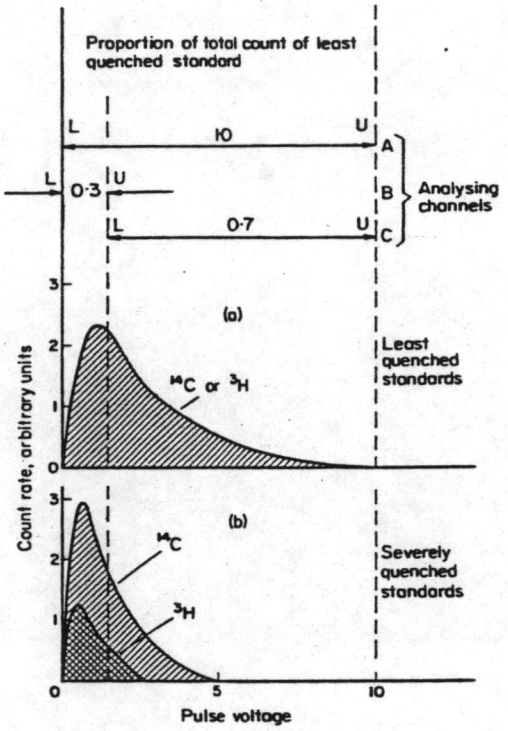
วิธีการนี้เกี่ยวกับการเลื่อน (shift) pulse voltage spectrum ของตัวอย่างต่อประสิทธิภาพของการวัด ขณะที่สเปคตรัมเลื่อนไป อัตรานับในช่วงโวลท์เตจนั้นก็จะเปลี่ยนไปด้วย ที่โวลท์เตจสูง ๆ จะลดลงและที่โวลท์เตจต่ำ ๆ อาจจะเพิ่มขึ้นหรือลดลงก็ได้ ขึ้นอยู่กับพลังงานของอนุภาคเบตาที่ปล่อยออกมา การเปลี่ยนแปลงอัตราการนับนี้จะใช้เป็นตัวบ่งชี้การ quenching

ในการทดลองจะใช้ช่องในการวิเคราะห์ 2 ช่อง แต่ละช่องจะวัด pulse ภายในช่วงความต่างศักย์เฉพาะ การเลื่อนของ pulse voltage spectrum จะปรากฏในรูปของการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วน (ปกติมักเรียก channel ratio)ของการนับทั้ง 2 ชุด ประสิทธิภาพของการวัดของ quenched standard แต่ละชุดจะนำมาเขียนกราฟกับอัตราส่วนของช่อง เพื่อให้ได้ quenched correction curve ถ้าทราบอัตราส่วนของช่องจากสารตัวอย่างที่ไม่ทราบความแรงรังสี ก็จะหาประสิทธิภาพของการนับได้จากกราฟ

มีวิธีที่สะดวกหลายวิธีในการทำให้สเปคตรัมแยกออกมาระหว่างช่องที่ทำการวิเคราะห์ทั้งสอง เพื่อให้ได้อัตราส่วนที่เหมาะสม ได้แก่การแบ่งสเปคตรัมที่มี quenched standard น้อยที่สุดในอัตราส่วน 0.3:1.0, 0.3:0.7 (ภาพ 3.6) และ 0.5:0.5 ตัวอย่างของวิธีการ channel ratio อัตราส่วน 0.3:1.0 สำหรับสารมาตรฐานที่มีการ quench น้อยที่สุด

ปรับช่อง A ให้นับ pulses ทั้งหมดภายในช่วงความต่างศักย์ที่เลือกไว้ และช่อง B นับเฉพาะ pulses (0.3 ของทั้งหมด) ซึ่งมีความต่างศักย์ต่ำลง การทดลองนี้ต้องใช้ quenched standard 1 ชุด นำสารมาตรฐานที่มีการ quench น้อยที่สุดใส่ในช่องนับ ปรับช่องทั้งสองเพื่อหา balance point โดยให้ discriminator มีช่วงกว้างมากที่สุด (maximum differential count) หรือมี maximum integral count ปรับ upper discriminator ของช่อง B และลดความต่างศักย์ลงจนได้อัตราการนับประมาณ 1 ใน 3 ของอัตราการนับในช่อง A (รูป 3.6) จากนั้น จึงดำเนินการทดลองตามขั้นตอน ดังนี้

1. นับ quenched standard ในช่องทั้งสองพร้อม ๆ กัน
2. หาประสิทธิภาพของการนับสารมาตรฐานแต่ละตัวจากอัตราการนับในช่อง B A และค่าอัตราการสลายตัวของสารมาตรฐานที่มีอยู่



หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูป 3.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง pulse voltage spectrum และการตั้ง discriminator ของการหาประสิทธิภาพของการนับด้วยวิธี sample channel ratio

a) แบ่ง pulse voltage spectrum ของสารมาตรฐานที่มีการ quench น้อยที่สุด โดยการตั้ง discriminator ให้เหมาะสม

b) ผลจากการเกิด quenching ทำให้ความสัมพันธ์ระหว่าง pulse voltage spectrum ต่อการตั้ง discriminator เปลี่ยนไป

3. คำนวณอัตราส่วนของจำนวนนับในช่อง B กับจำนวนนับในช่อง A

4. สร้าง quench correction curve โดยการพลอตกราฟระหว่างประสิทธิภาพของการนับจากข้อ 2 กับอัตราส่วนของสารมาตรฐานแต่ละตัวจากข้อ 3 ดูรูป 3.7 แสดงกราฟดังกล่าวของ ^{14}C

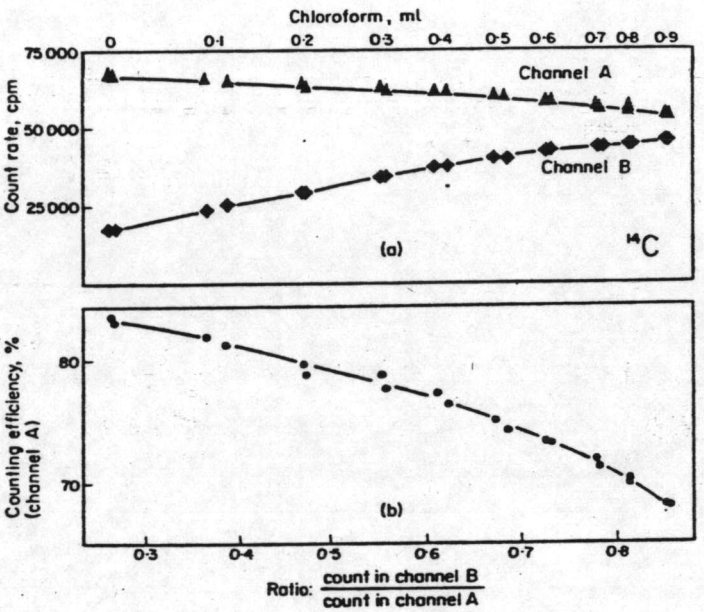
5. นับตัวอย่างที่ไม่ทราบความแรงรังสีและประสิทธิภาพของการนับด้วยวิธีเดียวกัน โดยปรับเครื่องมือไว้ที่เดิม จากอัตราส่วนของจำนวนนับที่ได้ในทั้งสองช่อง จะหาประสิทธิภาพของการนับได้จากกราฟ จะคำนวณอัตราการสลายตัวของตัวอย่างได้จากประสิทธิภาพและอัตราการนับในช่อง A

วิธีการ channel ratio อัตราส่วน 0.3:0.7 สำหรับสารมาตรฐานที่มีการ quench น้อยที่สุด

วิธีการนี้ต้องใช้ทั้ง 3 ช่อง โดยปรับช่อง A ให้นับ pulses ทั้งหมด ช่อง B นับเพียง $\frac{3}{10}$ ของช่องแรกของ pulse voltage spectrum และช่อง c ปรับให้นับส่วนของสเปคตรัมที่เหลืออีก $\frac{7}{10}$ ส่วน แล้วสร้างกราฟโดยพลอตระหว่างประสิทธิภาพของการนับ (จากช่อง A) กับอัตราส่วนของจำนวนนับในช่อง B และ c

กรณีของวิธีการ channel ratio อัตราส่วน 0.5:0.5 นั้นใช้วิธีการทำนองเดียวกัน

ปกติมักเลือกใช้อัตราส่วน 0.3:1.0 ซึ่งมีข้อดี คือ ช่องหนึ่งนับจำนวนนับทั้งหมด และทั้งเศษส่วนและตัวหารของอัตราส่วนจะยังคงมีค่าสูง เมื่อมี quenching เพิ่มขึ้น ดังนั้น ข้อผิดพลาดจะน้อยที่สุด



รูป 3.7 แสดงวิธีหาประสิทธิภาพของการนับด้วยวิธี sample channels ratio ได้ quench correction curve ของ ^{14}C โดยการใช้อัตราส่วนประมาณ 0.3:1.0

a) อัตราการนับจากชุดของ quenched standard โดยนับใน 2 ช่อง A และ B

b) quench correction curve ที่ได้จากการพลอตกราฟระหว่างประสิทธิภาพของการนับในช่อง A กับอัตราส่วนของการนับใน 2 ช่อง

ข้อดีของวิธีการ sample channel ratio method

1. เป็นวิธีเดียวที่สามารถเปรียบเทียบ quenching ของสารรังสีที่มีต่อ solid support หรือในการแขวนลอยได้ แต่ไม่ได้หมายความว่าจะเป็นการเปรียบเทียบ quenching ของตัวอย่างที่มีต่อ solid support หรือการแขวนลอยกับ quenching ของสารมาตรฐานในสารละลาย
2. นับได้ง่าย ค่าของอัตราการนับของตัวอย่างและค่าที่จะใช้หาประสิทธิภาพได้จากการนับเพียงครั้งเดียว
3. ไม่มีการเติมสารรังสีลงใน vial ที่ใช้นับ จึงสามารถนำตัวอย่างกลับมานับได้อีก
4. การเข้าอัตราส่วนจะทำให้ความคลาดเคลื่อนลดลง
5. ปริมาณสารใน vial ไม่ได้จำกัดแน่นอน

ข้อเสียของวิธีการนี้

1. ตัวอย่างที่มีอัตราการนับต่ำ ๆ จะใช้ไม่ได้ผล เพราะความแม่นยำของอัตราส่วนขึ้นอยู่กับอัตราการนับของตัวอย่างนั้น
2. ต้องใช้ quenched standard เป็นชุด
3. ถ้าช่วงของ quenching ไม่แคบ จะใช้ quench correction curve ในการแก้ทั้ง colour และ chemical quenching ไม่ได้

3.8.2.3 วิธีการ external standard channel ratio

วิธีการนี้นิยมใช้กับสารมาตรฐานภายนอก ซึ่งจะมีความคลาดเคลื่อนน้อยกว่าวิธีการนับโดยใช้สารมาตรฐานภายนอก หลักของวิธีการนี้เหมือนกับที่ใช้ใน

วิธีการ sample channel ratio เว้นแต่อัตราส่วนจะได้จากการนับที่เกิดจากสารมาตรฐานภายนอก แทนที่จะได้จากสารตัวอย่าง

ข้อดีของวิธีการ external standard channel ratio

1. ไม่ต้องเติมสารใด ๆ ลงใน vial
2. สารตัวอย่างไม่มีการเปลี่ยนแปลง จึงสามารถนำกลับมานับรังสีได้อีก
3. สามารถนับตัวอย่างที่มีอัตราการนับต่ำ ๆ ได้ โดยมีความแม่นยำคงเดิม
4. การใช้อัตราส่วนของการนับจะลดความคลาดเคลื่อนลงได้
5. ไม่ไว (sensitive) ต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของสารภายใน และตำแหน่งของ vial เหมือนวิธีการนับโดยใช้สารมาตรฐานภายนอก

ข้อเสียของวิธีการนี้

1. ไม่เหมาะที่จะใช้หาประสิทธิภาพของการนับตัวอย่าง ในกรณีแขวนลอย และ solid support
2. เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของสารใน vial ตำแหน่งของ vial และมีการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของสารละลายเรืองแสง จะมีผลมากกว่าวิธี sample channel ratio
3. chemical quenching จะให้ quenched correction curve ต่างไปจาก colour quenching
4. ในบางกรณีอาจใช้วิธีการนี้กับ vial ชนิดพลาสติกไม่ได้ เนื่องจากตัวทำละลายและตัวถูกละลายอาจทะลุผ่านผนัง vial ได้ ทำให้อัตราส่วนที่ได้เปลี่ยนไป
5. ต้องใช้ quenched standard เป็นชุด

3.8.2.4 วิธีการ extrapolation

วิธีการนี้มีหลักการ คือ สารที่จะนับรังสีมีปริมาณน้อยเท่าใด จะมี quenching material อยู่น้อยลงเท่านั้น ดังนั้น ถ้านับ quenched sample ปริมาตรลดลงเรื่อย ๆ อัตราการนับที่คำนวณต่อหน่วยปริมาตรของตัวอย่างเริ่มแรกจะเพิ่มขึ้น นำอัตราการนับที่ได้มาพลอตกราฟกับปริมาตรของตัวอย่าง แล้วต่อเส้นกราฟไปที่ปริมาตรเท่ากับ 0 จะได้จุดที่ตัวอย่างไม่ถูก quench เลย จะได้อัตราการนับต่อหน่วยปริมาตรของตัวอย่างเริ่มแรกซึ่งไม่มีสารที่จะทำให้เกิด quenching อยู่ ประสิทธิภาพของการนับอาจได้จากการนับ radioactive internal standard ในสารละลายซินทิลเลชัน

วิธีการนี้มีประโยชน์ในการนับรังสีของตัวอย่างปริมาณมาก ๆ ที่มีความแรงรังสีจำเพาะสูง แต่ถ้ามีหลายตัวอย่างจะเสียเวลามาก

ข้อดีของวิธีการ extrapolation

1. สามารถแก้ quenching ของสารรังสีในสารละลายได้ทุกแบบ
2. ใช้ช่องในการวิเคราะห์เพียงช่องเดียว และการเตรียมช่องสามารถทำได้ง่าย

ข้อเสียของวิธีการนี้

1. ไม่เหมาะที่จะใช้กับตัวอย่างที่สารรังสีไม่ได้อยู่ในสารละลาย
2. ใช้เวลานาน
3. เหมาะสำหรับตัวอย่างที่มีความแรงรังสีสูง ๆ เท่านั้น

3.9 การเลือกวิธีการหาประสิทธิภาพของการนับ

วิธีที่เชื่อถือได้มากที่สุด ก็คือ วิธี internal standard และวิธี extrapolation แต่ถ้าใช้กับงานที่ทำประจำทุกวัน โดยมีตัวอย่างจำนวนมาก จะเสียเวลามากไป วิธีเหมาะที่สุด คือ channel ratio ซึ่งสามารถตรวจสอบ quenching ได้ทุกชนิด แต่วิธีการนี้จะมีความแม่นยำเฉพาะเมื่อตัวอย่างมีอัตราการนับสูง กรณีที่ตัวอย่างมีอัตราการนับต่ำ ควรใช้วิธี external standardจะเหมาะกว่า แต่วิธีการนี้มักมีความแม่นยำน้อยที่สุด

3.10 ภาชนะ (vial) ที่ใช้บรรจุสารในการนับรังสี

ภาชนะบรรจุทำด้วยแก้วหรือพลาสติก โดยมีขนาดมาตรฐานสำหรับใช้กับเครื่องมือซินทิลเลชันในของเหลว

3.10.1 ภาชนะบรรจุที่ทำด้วยแก้ว (glass vial) มี 2 แบบ คือ ทำด้วยแก้วมาตรฐานและแก้วที่มี K ต่ำ ๆ เนื่องจาก ^{40}K นี้เป็นสารรังสีที่มีอยู่ในธรรมชาติ (ประมาณ 0.1 % ของโปตัสเซียมในธรรมชาติ) และเป็นแหล่งใหญ่ของแบคกราวน์จากแก้ว

ข้อดีของภาชนะบรรจุทำด้วยแก้ว

1. สารละลายซึมผ่านออกมาไม่ได้
2. สามารถมองเห็นสารที่บรรจุอยู่ภายใน
3. นำกลับมาใช้ได้อีก

ข้อเสียของภาชนะชนิดนี้

1. รอยขีดข่วนที่ผิวอาจทำให้ประสิทธิภาพที่ได้ต่างกันออกไป

2. มีราคาแพงจึงทิ้งไม่ได้ ดังนั้น เมื่อใช้แล้วจึงต้องล้างให้ดีที่สุด

3.10.2 ภาชนะบรรจุที่ด้วยพลาสติก (plastic vial)

ข้อดีของภาชนะบรรจุชนิดนี้

1. มีราคาถูกกว่าชนิดแก้ว
2. ใช้แล้วทิ้งได้เลย จึงไม่ต้องล้าง
3. ให้ค่านับของแบคกราวน์ต่ำกว่าแบบแก้ว

ข้อเสีย

1. โทลูอีนและสารที่ละลายในโทลูอีน อาจซึมผ่านผนังได้
2. มองเห็นสารที่บรรจุอยู่ภายในไม่ชัด ดังนั้น ถ้าสารไม่ละลายเข้ากันเป็นเนื้อเดียวกันจะไม่สามารถสังเกตเห็นได้
3. ประสิทธิภาพของการนับน้อยกว่าแบบแก้ว เนื่องจากมีการดูดแสง
4. สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายทั้งสิ้นสูงกว่า เนื่องจากนำกลับมาใช้อีกไม่ได้

3.11 ความคลาดเคลื่อนของการนับรังสีด้วยเครื่องนับรังสีชนิดซินทิลเลชันในของเหลว

3.11.1 ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการสลายตัวของสารรังสีและแบคกราวน์

เนื่องจากการสลายตัวของสารรังสีและอัตราการนับของแบคกราวน์เป็นแบบ random การคำนวณความคลาดเคลื่อนจึงต้องใช้วิธีการทางสถิติมาคำนวณ เมื่อมีการนับรังสีของสารตัวอย่าง แบคกราวน์จะถูกนับรวมมากับการนับของสารตัวอย่างในช่วงเวลานั้นด้วย ดังนั้น

จำนวนนับของตัวอย่าง = จำนวนนับทั้งหมด - จำนวนนับของแบคกราวน์

และ S ของตัวอย่างเป็น cpm $= \sqrt{\frac{\text{จำนวนนับทั้งหมดในเวลา } t_1}{t_1^2} + \frac{\text{จำนวนนับของแบคกราวน์ในเวลา } t_2}{t_2^2}}$

S = ค่า standard deviation ของการนับ

3.11.2 Figure of merit of instrument

เป็นค่าที่แสดงถึงขีดความสามารถของเครื่องนับรังสีจะใช้กับงานนับรังสีระดับต่ำได้ดีเพียงใด เมื่อคิดที่ปริมาตรคงที่ค่าหนึ่ง แสดงได้ด้วยค่า E^2/B

เมื่อ E = ประสิทธิภาพของเครื่องมือในการนับตัวอย่างนั้น ๆ

B = จำนวนนับของแบคกราวน์

3.11.3 แบคกราวน์ (Background)

แบคกราวน์มีหลายชนิด คือ

3.11.3.1 Random background เกิดจากแหล่งต่อไปนี้คือ

1. cosmic rays ซึ่งให้ pulses ที่มีความต่างศักย์สูง แก้ได้โดยใช้ upper discriminator

2. electric 'noise' จะได้ pulses ที่มีความต่างศักย์ต่ำ แก้ได้โดยใช้ lower discriminator

3. local sources อาจเกิดจากเครื่องมือบางส่วน และสารที่เป็นองค์ประกอบอยู่ในภาชนะบรรจุ

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ถ้าใช้เวลาในการวัดนาน อัตราการนับจาก แหล่งเหล่านี้จะคงที่ แสดงว่าเครื่องมือนี้เสถียร และ local radioactive sources ไม่มีการเปลี่ยนแปลง

3.11.3.2 แบคกราวน์ที่ไม่คงที่ (erratic background)

แบคกราวน์ชนิดนี้เกิดขึ้นได้จากหลายสาเหตุ คือ

อาจเกิดจากองค์ประกอบของภาชนะบรรจุที่ใช้นับรังสี จำนวนนับของแบคกราวน์จากภาชนะบรรจุชนิดพลาสติกจะน้อยกว่าชนิดแก้ว และภาชนะชนิดแก้วที่มีโปตัสเซียมต่ำ ๆ จะให้จำนวนนับของแบคกราวน์น้อยกว่าชนิดที่ทำด้วยแก้วธรรมดา

3.11.3.3 แบคกราวน์ชั่วระยะเวลาหนึ่ง (transient background)

แบคกราวน์ชนิดนี้เริ่มแรกจะมีระดับสูงและค่อย ๆ ลดลงจนมีค่าคงที่ มี 2 แบบ คือ

1. Chemiluminescence เกิดขึ้นเนื่องจากสารเคมีไปชักนำให้เกิดการเรืองแสงขึ้น จะเกิดในกรณีที่ solubiliser ทำให้เกิดความเป็นด่างขึ้น และอาจคงอยู่นานเป็นชั่วโมง

2. Photoluminescence เกิดจากแสงชักนำให้เกิดการเรืองแสงขึ้น อัตราการนับจะลดลงจนถึงระดับที่มีอยู่ในธรรมชาติอย่างรวดเร็ว

3.11.4 ความคลาดเคลื่อนที่เกี่ยวกับภาชนะบรรจุและสิ่งบรรจุ ได้แก่ quenching self-quenching การแยกชั้น การตกตะกอน การดูดที่ผิวหน้า การเปลี่ยนอุณหภูมิ ธรรมชาติของภาชนะบรรจุ รอยขีดข่วนบนภาชนะบรรจุ ปริมาตรของสารที่บรรจุอยู่ในภาชนะ(18)