

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

การใช้คำสั่งของโปรแกรมเคสเทรลสเปก

ประกอบด้วย ก.1 หลักการทำงานของโปรแกรมเคสเทรลสเปก, ก.2 คำสั่งสำคัญของโปรแกรมเคสเทรลสเปก, ก.3 ทฤษฎีการแก้ไขเส้นฐาน, ก.4 การใช้โปรแกรมอื่นร่วมกับเคสเทรลสเปก ได้แก่ โน้ตแพด เวอร์คแพด และไมโครซอฟท์เอ็กเซล ดังนี้

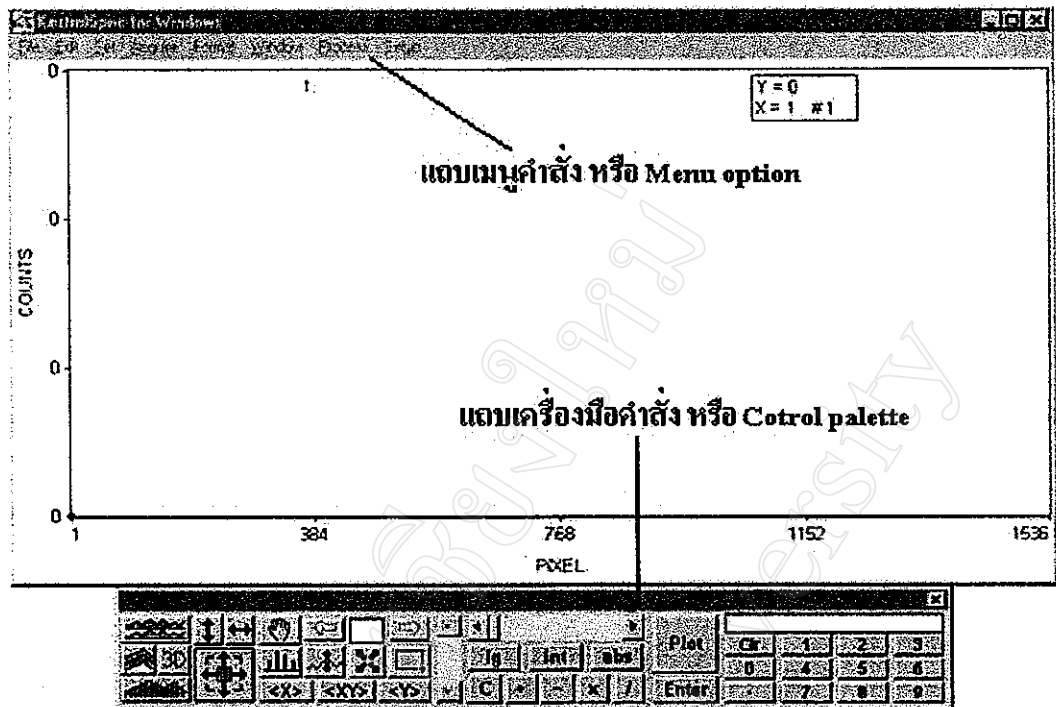
ก.1 หลักการทำงานของโปรแกรมเคสเทรลสเปก

โปรแกรมเคสเทรลสเปก (KestrelSpec program) เป็นซอฟต์แวร์ (software) ทำหน้าที่ควบคุมการถ่ายภาพสเปกตรัมของกล้องซีซีดีของเครื่องมือซีซีดีสเปกโตรกราฟ และใช้วิเคราะห์ภาพสเปกตรัมหลังขบวนการถ่ายเสร็จสิ้น ด้วยคำสั่งต่างๆ ของโปรแกรมเคสเทรลสเปกที่ติดตั้งบนระบบปฏิบัติการวินโดวส์ 95/NT ขึ้นไปของเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ เวอร์ชันของเคสเทรลสเปกคือ 3.0 (32-บิต) อุปกรณ์หรือฮาร์ดแวร์ (hardware) ที่ทำหน้าที่ร่วมกับโปรแกรมนี้ในขบวนการถ่ายภาพและการวิเคราะห์ได้แก่ ISA bus controller card และ Hardware key port ซึ่งมีความสำคัญอย่างมาก เช่น ถ้าระบบปฏิบัติการขาดอุปกรณ์ Hardware key port แม้ว่ามี ISA bus controller card ถูกติดตั้งแล้วที่ ISA slot จะทำให้ไม่สามารถใช้คำสั่งเกี่ยวกับการถ่ายภาพสเปกตรัมและบางคำสั่งในการวิเคราะห์ เช่น การบันทึกข้อมูล การคัดลอกรูปภาพ การย้ายข้อมูลเข้าและออกจากโปรแกรมเคสเทรลสเปก เป็นต้น ที่เนื่องมาจากผู้ผลิตซอฟต์แวร์เคสเทรลสเปกนี้สร้างเงื่อนไขไว้ รายละเอียดของเครื่องมืออธิบายไว้ที่ข้อ (2) และ (3) ของหัวข้อที่ 3.1 เนื่องจากแต่ละภาพสเปกตรัมประกอบด้วยข้อมูลจำนวนมากเกินกว่าที่จะสามารถดำเนินการคำนวณหรือวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมเคสเทรลสเปกแต่เพียงอย่างเดียว ดังนั้น จึงต้องมีโปรแกรมช่วยอื่นๆ ได้แก่ โน้ตแพด (Notepad), เวอร์คแพด (Wordpad), และไมโครซอฟท์เอ็กเซล (Microsoft Excel) สำหรับใช้ในการคำนวณ, การถ่ายโอนข้อมูล (เช่น เปลี่ยนไฟล์ .crv ไปอยู่ในรูปของ .txt), และการวิเคราะห์ข้อมูล แล้วสามารถนำข้อมูลที่แก้ไขป้อนกลับเข้ามาวิเคราะห์ในโปรแกรมเคสเทรลสเปกก็ได้

ก.2 คำสั่งสำคัญของโปรแกรมเคสเทรลสเปก

- หน้าต่างปฏิบัติการของโปรแกรมเคสเทรลสเปก

เมื่อเข้าสู่ระบบปฏิบัติการของโปรแกรมเคสเทรลสเปก จะมีหน้าต่าง ดังรูปที่ ก-1 สำหรับแสดงภาพสเปกตรัมในไฟล์ .crv หรือ .img และมีแถบเครื่องมือรวมคำสั่งที่ใช้บ่อยครั้งในรูปแบบของภาพหรือไอคอน (icon) เรียกแถบนี้ว่า Control palette ซึ่งรายละเอียดของคำสั่งที่นอกเหนือจากการอธิบายในลำดับถัดไปนั้น สามารถดูได้จากคู่มือการใช้โปรแกรมเคสเทรลสเปก [Catalina Scientific in Cooperation with Rhea Corporation, 1998, *KestrelSpec™ for Window® 95/NT Software Manual Version 3.0 (32 bit)*, Catalina Scientific USA]



รูปที่ ก-1 หน้าต่างปฏิบัติการของโปรแกรมเคสเทรลสเปก

เมื่อคำสั่งบนแถบเมนูคำสั่ง [Menu option (bar)] ประกอบด้วย

File : Open..., Save all curves..., Save active curves..., Import [:Raw data to image... หรือ 250 color BMP to image... หรือ text file to curve(s)...], Export [:Curve(s) as text... หรือ Image as raw data... หรือ Image as BMP file... หรือ Image as text file...], AutoSave..., Update INI file, Page setup..., Print, Print setup..., Exit

Edit : Undo, Cut, Copy, Paste, Clear active curve, Clear marked curves, Create overlay port..., Remove curve from overlay, Clear Keypad stack, Clear all curves, Paste curve..., Edit image pixel

Set : General settings..., Axes..., Thresholds..., Peak finder..., Auto background subtraction [: None หรือ Use set background curve หรือ Use set background image หรือ Dynamic background image], Auto flat-field correction [:None หรือ Use flat-field image หรือ Use flat-field curve], Auto transform to absorbance, Auto image flip horizontal, Set as background blank, Set as flat-field black [:Current curve หรือ Form file...], Set as absorbance blank

Acquire : Acquire spectra, Acquire exposure, Acquire one dark, Repeat-acquire spectra, Repeat-acquire image, Open shutter

Format : Plot [:Line bar scatter หรือ Cityscape], Line [:Yellow หรือ Green หรือ Cyan หรือ Blue หรือ Magenta หรือ Red หรือ Black], Fill [:Pattern หรือ White หรือ None หรือ Color...], Font, Image [: 3D image หรือ 2D image หรือ Positive หรือ Negative หรือ Pseudocolor หรือ Show intensity scale หรือ Show negative pixels หรือ Image fits Window หรือ X profile plot หรือ Y profile plot],

Calibrate X axis [*:Pixels* หรือ *Wavelengths (nm)* หรือ *Raman Shift (cm-1)*], Tweaks..., Titles, Axes, Grid, Cursor, Curve bands on image

Window :Control palette, Curve info..., CCD temperature, Spectrum catalog, Spectrum movie, Spectrum plot, Active image, Dark (background) image, White (flat-field) image, 2D overlay plot, 3D overlay plot, Stacked overlay plot, Append channel profile plot, 1 spectrum (no overlay)

Process :Curve [*:Smooth* หรือ *Flatten baselines* หรือ *Convert to float* หรือ *Derivative dy/dx* หรือ *Create baseline...*], Curve math [*:Constant operations...* หรือ *Dyadic operations...* หรือ *Multiple curve operations...*], Stretch curve (resample)..., Renormalize curve X axis..., Join curves..., Compute curve mean SD..., Integrals..., Copy image to curve(s), Spike filter image, Subtract background image, Flat-field correct image, Flip image horizontal, Flip image vertical, Compute pixel mean SD..., Convert image to signed Int

Setup :Acquire..., Binning..., Camera configuration..., X axis calibration..., Curve memories..., Image→Curve(s)...

- การกำหนดโมเดลหรือแบบจำลองของกล้องซีซีดีโพจี

โมเดลหรือแบบจำลองของกล้องซีซีดีโพจี (Apogee camera model) เป็นตัวกำหนดพารามิเตอร์เริ่มต้นของเครื่องมือวัดซีซีดีที่อยู่ในรูปไฟล์สกุล INI มีอยู่ในโปรแกรมเมื่อโปรแกรมเคสเทรลสเปกถูกติดตั้ง (Installed) แล้ว โมเดลของกล้องซีซีดีที่ใช้ในงานวิจัยนี้ คือ ชนิด KX2 และ SPKX2 ซึ่งสามารถเลือกได้ที่หน้าต่าง Apogee SP series CCD Cameras เมื่อเริ่มต้นเข้าสู่โปรแกรมเคสเทรลสเปก

- คำสั่งถ่ายภาพสเปกตรัม

คำสั่งถ่ายภาพสเปกตรัม (acquire) อยู่บนแถบเมนูคำสั่ง ที่ Acquire ของหน้าต่างปฏิบัติการของโปรแกรมเคสเทรลสเปก ดังรูปที่ ก-1 คำสั่งสำหรับการถ่ายภาพ ประกอบด้วย

- (1). Acquire Spectra เป็นคำสั่งถ่ายภาพสเปกตรัมที่ให้ข้อมูลของภาพสเปกตรัมอยู่ในรูปของสเปกตรัมแบบโปรไฟลถ้าโปรแกรมกำลังอยู่ใน Single plot mode ซึ่งกำหนดได้ที่ Setup : Acquire... และภาพสเปกตรัมที่อยู่ในรูปแบบแถบเส้นสเปกตรัมถ้าโปรแกรมกำลังอยู่ใน Image mode ซึ่งกำหนดได้ที่ Setup : Acquire... เมื่อกำหนดพารามิเตอร์เริ่มต้นในการถ่ายภาพสเปกตรัมที่ Setup Menu Option : Acquire ได้แก่ Number of Scans, Number of Accum, Timed Delays, และ Exposure Time
- (2). Acquire One Exposure เป็นคำสั่งถ่ายภาพสเปกตรัมที่ให้ภาพสเปกตรัมแบบแถบเส้นสเปกตรัมใหม่ออกมาจำนวน 1 รูป แต่สเปกตรัมแบบโปรไฟลจะไม่ถูกสร้างโดยอัตโนมัติ เว้นแต่ โปรแกรมกำลังแสดงอยู่ใน plot mode
- (3). Acquire One Dark เป็นคำสั่งที่เหมือนกับคำสั่ง Acquire One Exposure เพียงแต่ชัตเตอร์ของกล้องซีซีดี (camera shutter) ถูกปิดอยู่ และทำให้ไม่สามารถใช้ขบวนการ Automatic dark background subtraction ที่ Set ของแถบเมนูคำสั่ง

- (4). Repeat-Acquire Spectra เป็นคำสั่งถ่ายภาพสเปกตรัมเหมือนกันกับคำสั่ง Acquire Spectra เพียงแต่มีการถ่ายภาพสเปกตรัมแบบซ้ำพร้อมกับแสดงผลเป็นภาพอย่างต่อเนื่องทุกๆ ช่วงของ Exposure Time โดยข้อมูลอยู่ใน spectrum plots mode และสามารถหยุดขบวนการถ่ายภาพแบบต่อเนื่องที่ปุ่ม Stop บน control palette และให้ภาพสุดท้ายที่ได้เพียง 1 รูป
- (5). Repeat-Acquire Image เป็นคำสั่งถ่ายภาพสเปกตรัมเหมือนกันกับคำสั่ง Repeat-Acquire Spectra เพียงแต่ข้อมูลที่ได้จะแสดงอยู่ในรูปของแถบเส้นสเปกตรัม และสามารถหยุดขบวนการถ่ายภาพสเปกตรัมที่ปุ่ม Stop บน control palette
- (6). Open Shutter / Close Shutter เป็นคำสั่งเปิดหรือปิดชัตเตอร์ของกล้องซีซีดีที่ควบคุมโดยผู้ถ่าย แต่ถ้าเป็นการถ่ายแบบอัตโนมัติก็ไม่จำเป็นต้องใช้คำสั่งนี้

มีข้อสังเกตว่า ถ้าโปรแกรมเคสเทรลสเปกกำลังดำเนินการถ่ายภาพสเปกตรัม ซึ่งจำเป็นต้องใช้การประมวลผลของซีพียู (CPU) ของเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ทั้งหมด ดังนั้น จึงไม่ควรเปิดโปรแกรมอื่นหรือแม้แต่การลดขนาดหน้าต่างปฏิบัติการของโปรแกรมเคสเทรลสเปก เพราะอาจทำให้ผลลัพธ์มีความผิดพลาด

- **การกำหนดค่าเริ่มต้นของการถ่ายภาพสเปกตรัมแต่ละภาพ**

การกำหนดค่าเริ่มต้นของการถ่ายภาพสเปกตรัมแต่ละภาพ (Setting up for data acquisition) ก่อนจะดำเนินการถ่าย กำหนดได้ที่ Setup menu option : Acquire... ประกอบด้วย

Exposure Time คือเวลาที่เปิดชัตเตอร์รับแสงของการถ่ายภาพสเปกตรัมแต่ละภาพ มีหน่วยเป็นวินาที และเวลาที่เปิดชัตเตอร์สั้นที่สุดเท่ากับ 0.02 วินาที

Number of Accums คือจำนวนครั้งที่เปิดชัตเตอร์รับแสง แล้วรวบรวมได้ภาพสเปกตรัมออกมา 1 รูป

Delay / Accum คือช่วงเวลาในหน่วยวินาทีที่ระบบจะหยุดชั่วคราวระหว่างภาพที่เปิดชัตเตอร์รับแสง เมื่อทำการกำหนดค่า Number of Accums เท่ากับ 2 ขึ้นไป

Number of Scans คือจำนวนครั้งในการเปิดหน้ากล้องที่ถูกกระทำซ้ำๆ

Delay / Scan คือช่วงเวลาในหน่วยวินาทีที่ระบบหยุดชั่วคราวระหว่างการสแกน (scans)

New Curve Name และ New Image Name คือชื่อหลัก (Root names) ที่เรากำหนดให้ พร้อมกับจะมีเลขดัชนีที่ท้ายชื่อหลักอย่างอัตโนมัติเมื่อถ่ายภาพสเปกตรัมแต่ละครั้ง

- **การกำหนดค่าเริ่มต้นของพื้นที่ภาพแสดงผลที่อ่านจากกล้องซีซีดี (Setting up binning of CCD image)**

การกำหนดพื้นที่ภาพสเปกตรัมเกี่ยวข้องกับแนวภาพที่อ่านจากเครื่องวัดซีซีดี พิกเซลสามารถจัดอยู่ในแนวคอลัมน์ (Serial dimension หรือ Columns) และแถว (Parallel dimension หรือ Rows) กำหนดพื้นที่ภาพแสดงผลได้ ที่ Setup : Binning... บนแถบเมนูคำสั่ง ซึ่งกล้องออปติคัลทุกตัวมี Default binning mode ที่สามารถแก้ไขได้ ช่องว่าง (fields) ของคอลัมน์ซ้าย (Left) และขวา (Right) และช่องว่างของแถบบน (Top) และล่าง (Bottom) สามารถแก้ไขพื้นที่ที่จะอ่านออกมาของซีซีดีได้ มีเพียงส่วนของซีซีดีที่เลือกเท่านั้นที่จะถูกอ่านออกมาเรียกว่า Subarray ขนาดของกลุ่ม (Group Size) ของคอลัมน์และแถวสามารถแก้ไขเพื่อเปลี่ยนแฟกเตอร์พื้นที่ภาพแสดงผล (Binning factor) สำหรับแนวพิกเซลที่จัดในแนวของคอลัมน์และแถว

- (1). ถ้าเลือกภาพที่ 1 (First band) จะให้พื้นที่ที่อ่านออกมาครอบคลุมพื้นที่ทั้งหมดของซีซีดี

- (2). ถ้าเลือกภาพที่ 2 (Second band) จะให้พื้นที่ที่อ่านออกมาเป็น 60% ของพื้นที่ทั้งหมดของซีซีดี อยู่ตำแหน่งกึ่งกลางของแถวต่างๆ
- (3). ถ้าเลือกภาพที่ 3 (Third button) จะให้แถวอันที่ 3 ตอนกลาง
- (4). ถ้าเลือกภาพสุดท้ายจะให้พื้นที่เป็น 10% จากทั้งหมดของซีซีดี ที่ตำแหน่งกึ่งกลางของแถวต่างๆ

เมื่อภาพที่ 2, 3, และ 4 กำหนดเป็น subarrays ที่มีประโยชน์มากในทางสเปกโตรสโคปี ถ้าแก้ไขพื้นที่ที่ภาพแสดงผลจะสามารถบันทึกการแก้ไขนี้ที่ File : Update INI File จากแถบเมนูคำสั่ง แล้วการกำหนดพื้นที่แสดงผลอันใหม่จะมีผลเกิดขึ้นในเวลาถัดไป เมื่อมีการประมวลผล (run) ของโปรแกรมเคสเทรลสเปก

• การกำหนดค่าเริ่มต้นของกล้องซีซีดี

กำหนดค่าเริ่มต้นของกล้องซีซีดี (setting up the camera configuration) ได้ที่ Setup: Camera Configuration...บนแถบเมนูคำสั่ง เพื่ออ่านหรือเปลี่ยนพารามิเตอร์ต่างๆ ที่มีผลต่อการทำงานของกล้องซีซีดี การกำหนดพารามิเตอร์ส่วนใหญ่บนหน้าต่าง Camera Configuration ตรงกันกับพารามิเตอร์เริ่มต้นที่ถูกกำหนดไว้ในไฟล์ INI ดังตารางที่ ก-1 โมเดลที่กำลังใช้งาน ซึ่งหน้าต่างของ Camera configuration นี้ยอมให้แก้ไขพารามิเตอร์ต่างๆ ในไฟล์ INI ได้

ตารางที่ ก-1 พารามิเตอร์ของกล้องซีซีดี

Camera Configuration Screen	INI File
Base Address	base – system parameter
Use Caching	caching – system parameter
Serial Dimension	columns – geometry parameter
Before Image Cols	bic – geometry parameter
Skip Cols	skipc – geometry parameter
Image Cols	imgcols – geometry parameter
Parallel Dimension	rows – geometry parameter
Before Image Rows	bir – geometry parameter
Skip Rows	skipr – geometry parameter
Image Rows	imgrows – geometry parameter
Temperature Setting	target – temp parameter

การกำหนดค่าเริ่มต้นที่สำคัญ ได้แก่

- กำหนดโมเดลของกล้องได้ ที่ Model list box
- ขนาดของคอลัมน์และแถวเป็นตัวกำหนดเรขาคณิตของซีซีดี ซึ่งไม่ใช่พิกเซลทั้งหมดบนซีซีดีที่สามารถใช้สร้างภาพ ซีซีดีทุกตัวมีคอลัมน์และแถวที่เป็น non-imaging pixel ในแนวขอบของชิพ (chip) ค่าพารามิเตอร์เรขาคณิตเหล่านี้กำหนดไว้เหมาะสมสำหรับกล้องถ่ายรูปออปติคัลแต่ละตัวแล้ว เราสามารถแก้ไขและบันทึกการแก้ไขใหม่ได้โดยเฉพาะถ้าเราเห็นว่าภาพประกอบด้วยข้อมูลจาก non-imaging pixels ถ้าเราเปลี่ยนและต้องการคืนสภาพ (restore) ทำได้โดยคลิกปุ่ม Defaults และบันทึกการคืนสภาพโดยคลิกไอคอน OK

- อุณหภูมิควบคุม (Control temperature) อยู่ภายใต้เครื่อง Thermoelectric Cooler สิ่งสำคัญคือ อุณหภูมิต้องคงที่หรือเสถียรที่อุณหภูมิเป้าหมาย มิฉะนั้น จะเกิดความผิดพลาดในการวัด ซึ่งแก้ไขโดยกำหนดอุณหภูมิใหม่เพิ่มสองหรือสามองศาจนกระทั่งอุณหภูมิกงตัวแล้วบันทึก Temperature setting ที่ File: Update INI File ซึ่งผลการกำหนดใหม่จะทำงานเมื่อโปรแกรมเคสเทรลสเปกประมวลผลครั้งถัดไป

- **การกำหนดสเกลบนพื้นที่รับภาพจากหน่วยพิกเซลเป็น nm หรือ cm^{-1} (Spectral calibration)**

เปิดหน้าต่าง X Axis Calibration ที่ Setup: X Axis Calibration...บนแถบเมนูคำสั่ง หน้าต่างนี้ประกอบด้วย ช่องว่างจำนวน 15 คู่ สำหรับใส่ค่าพิกเซลและความยาวคลื่นที่ตรงกันลงไป แล้วคลิก Update Cal Curve สำหรับกำหนดสเกลบนภาพสเปกตรัม และสามารถบันทึกเป็นไฟล์ .cal ที่ปุ่ม Save Cal Curve

- **Dark Background subtraction**

เป็นการลบข้อมูลพื้นหลังที่เกิดระหว่างการถ่ายภาพสเปกตรัม ข้อมูลพื้นหลังกำเนิดจาก 2 แหล่งคือ

- (1). Bias Level นั่นคือ ทุกพิกเซลบนซีซีดีมี base-level number of counts คงที่สำหรับแต่ละพิกเซล DC offset หรือ bias level นี้เป็นสาเหตุให้เกิด fixed-pattern noise ในทุกภาพ หรือชัตเตอร์ทำงานได้สำหรับ Light Image หรือไม่สามารถทำงานสำหรับ dark image
- (2). Dark current นั่นคือ มีอิเล็กตรอนกำเนิดขึ้นเสมอใน silicon ของซีซีดี ซึ่ง electrical activity นี้เรียกว่า dark current ซึ่งสามารถลดจำนวนลงโดยลดอุณหภูมิซีซีดี อย่างไรก็ตาม บางระดับ dark current จะมีอยู่เสมอแม้ว่าจะกำหนดที่อุณหภูมิต่ำ เพราะว่า dark current มีในซีซีดีทุกตัว สิ่งสำคัญคือต้องสังเกตอุณหภูมิของกล้องโฟจิและถ่ายภาพได้ถ้าอุณหภูมิกงตัว รวมถึงบางพิกเซลบนซีซีดีที่เรียกว่า hot pixels จะกำเนิด dark current จำนวนมากกว่าพิกเซลอื่น แม้ว่าทั้งหมดถูกทำให้เย็นที่อุณหภูมิเดียวกัน

สำหรับโปรแกรมเคสเทรลสเปกมีตัวเลือกต่างกัน 4 ตัว ภายใต้คำสั่ง Set: Auto Background Subtraction ที่แถบเมนูคำสั่ง ได้แก่ No Background Subtraction, Use Set Background Curve, Use Set Background Image, และ Dynamic Background Subtraction

- **การแก้ไขแฟลท-ฟิลด์ (Flat-field correction)**

คำสั่ง Set: Set As Flat-Field Blank เป็นการบันทึก active curve หรือ image ให้ไปอยู่ที่ flat-field reference memory หรือยอมให้โฟลด์สกูล curve หรือ image ที่เปิดอยู่สามารถกำหนดให้เป็น flat-field blank ได้ flat-field ควรหาออกมาได้จากการถ่ายภาพปรับแสงสีขาวสม่ำเสมอ (uniform, white light) flat-field curve ถูกเก็บไว้ใน maximum curve memory +4 การยกเลิกหรือกำจัด flat-field image ทำได้ที่ Edit: Clear หรือกำจัด flat-field curve ที่ Edit: Clear Active Curve

คำสั่ง Set: Auto Flat-Field Correction คือ ข้อมูลใหม่ถูก automatically normalized สำหรับความผันแปรใน pixel response โดย (1). หาค่าด้วย flat-field blank, และ (2). คูณด้วยค่าเฉลี่ยของ flat-field blank ซึ่ง flat-field blank image หรือ curve (ใน maximum curve memory +4) ต้องกำหนดขึ้นมาก่อนที่ Set menu option และสำหรับ curve flat-field correction การเปลี่ยน "Image→Curve(s)" ต้องได้ผลลัพธ์ออกมา 1 curve จาก entire image ที่ Setup menu option

- **วิธีการสร้างเส้นฐาน (Create Baseline)**

สเปกตรัมปกติประกอบด้วย พิกเซลในแนวแกนความเข้ม ผันแปรจากระดับเส้นฐาน สามารถสร้างสเปกตรัมเส้นฐาน (baseline spectrum) โดยการลบ original spectrum ด้วยพิกเซลเหล่านี้ สเปกตรัมเส้นฐานสามารถลบสเปกตรัมดั้งเดิมแล้วทำให้ระดับเส้นฐานแบนราบ ด้วยคำสั่ง Process menu option: Curve: Create Baseline... ซึ่งสามารถเลือก baseline points ได้สูงถึง 99 จุด (สำหรับวิทยานิพนธ์นี้ใช้ 100 จุด) บน active curve ด้วยการคลิกบนเส้นกราฟ สามารถยกเลิกจุดที่เลือกก่อนหน้านี้ได้ที่ Edit menu option: Undo และยกเลิกการสร้างกราฟความโค้งของเส้นฐานโดยเปลี่ยนการแสดงผลเป็น spectrum catalog หรือ image display mode ถ้าคลิกไอคอน OK โปรแกรมจะแจ้งว่าจำนวนจุดไม่เพียงพอ จะทำให้สิ่งที่ดำเนินการแล้วถูกแสดงและไม่ใช้กราฟความโค้งของเส้นฐาน เมื่อเลือกจุดครบให้คลิกไอคอน OK บน control palette โดยจุดที่เลือกจะ fit ตามโพลิโนเมียล (polynomial) ที่กำหนดจากออร์เดอร์ 1 ถึง 8 และกราฟความโค้งของเส้นฐานอันใหม่จะกำหนดไว้ที่ next available curve memory

เมื่อ local baseline curve ถูกสร้างขึ้นแล้ว ต่อไปเลือกคำสั่ง Process: Curve: Flatten Baseline menu option บน Curve ใดๆ ที่เราต้องการระดับเส้นฐานแบนราบ ซึ่งขบวนการนี้เป็นการลบ baseline curve ที่คำนวณได้ออกจากสเปกตรัมดั้งเดิมแล้วได้เส้นฐานที่แบนราบ ขณะเดียวกันก็ยังคงรักษาความละเอียดของสเปกตรัมไว้ รายละเอียดมากกว่านี้ดูจาก หัวข้อที่ ก.3

- **วิธีการทำ Renormalize Curve X Axis**

resolution ของ array detector ขึ้นอยู่กับขนาดของพิกเซล, ความยาวโฟกัสของสเปกโตรกราฟ, ความหนาแน่นของช่องเกรตติง, และแฟลตเตอร์อื่นๆ ช่วงความยาวคลื่นต่อพิกเซลผันแปรขึ้นอยู่กับตำแหน่งของมันในแถว (array) สิ่งที่เราต้องการคือ ให้ข้อมูลสเปกตรัมแสดง curve pixel resolution ด้วยมาตรฐานที่หน่วยคงตัว เช่น 1.0 นาโนเมตรต่อพิกเซล เราสามารถเปลี่ยน calibrated spectrum curve ใดๆ ไปเป็น new curve ที่มี uniform pixel resolution ตามการกำหนดของเรา ที่ Renormalize Curve X Axis เมื่อ curve ต้องกำหนดสเกลก่อนแล้วจาก CAL curve หรือ Kestrel Cal 1-point information และการทำ renormalization นี้ ผลลัพธ์ของ new curve จะยังคงรักษาข้อมูลและรูปร่างไว้เหมือนเดิม มีวิธีการ renormalize ดังนี้ คือ

- (1). เรียก curve ที่ต้องการทำ renormalize แล้วทำการกำหนดสเกลเป็นนาโนเมตร (nm)
- (2). เลือก Process menu option : Renormalize Curve X Axis...
- (3). ใส่ค่าความยาวคลื่นขอบเขตซ้ายและขวาที่ต้องการแสดงในสเปกตรัมใหม่ และใส่ค่า pixel resolution สำหรับ curve ใหม่ในช่วงว่าง Interval Per Pixel
- (4). คลิกไอคอน OK จะได้ renormalized curve

- **วิธีการทำ Join Curves**

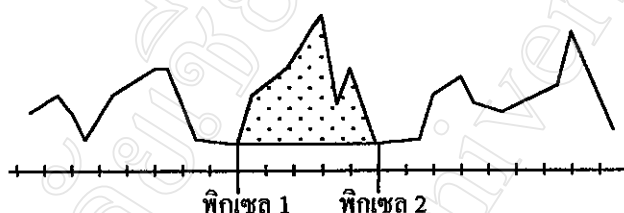
คือ การเชื่อมต่อสเปกตรัม โดยสเปกตรัมที่นำมาเชื่อมต่อต้องทำ renormalized แล้ว ที่ Process: Renormalized Curve X axis... โดยให้มี resolution เท่ากัน และต้องผ่านการทำแฟลต-ฟิลด์ (flat-field) หรือ การแก้ไขความไว (sensitivity correction) ของเครื่องมือวัดชนิดเดียวกันแล้ว

- วิธีการหาอินทิกรัลหรือพื้นที่ของเส้นสเปกตรัม

พื้นที่ของพีคหรือเส้นสเปกตรัม (integral) เรียกว่า region สามารถคำนวณได้ ที่ Process menu option: Integrals...และสามารถสร้าง $Y(t)$ ซึ่งเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ของเส้นกับ curve number เป็นเส้นโค้งของสเปกตรัมที่เกิดจากแต่ละ region คำนวณพื้นที่ของพีคได้ 2 วิธี คือ

วิธีที่ 1 : อินทิกรัลค่าความเข้มทั้งหมดที่อยู่ระหว่างขอบและที่อยู่ด้านล่างเส้นฐานด้วยจากขอบซ้ายของพีค (Pixel 1) จนถึงขอบขวาของพีค (Pixel 2) เมื่อไม่ได้เลือก Baseline Correct button

วิธีที่ 2 : เมื่อเลือก Baseline Correct แล้ว จะทำให้ baseline function ถูกนำมาคำนวณ ซึ่งฟังก์ชันนี้ ตรงกันกับเส้นตรงที่เชื่อมจากความเข้มที่พิกเซล 1 ถึงที่พิกเซล 2 ดังนั้น อินทิกรัลคือพื้นที่ใต้เส้นโค้งที่คำนวณในวิธีที่ 1 ลบด้วยพื้นที่ใต้ baseline function ดังรูปที่ ก-2



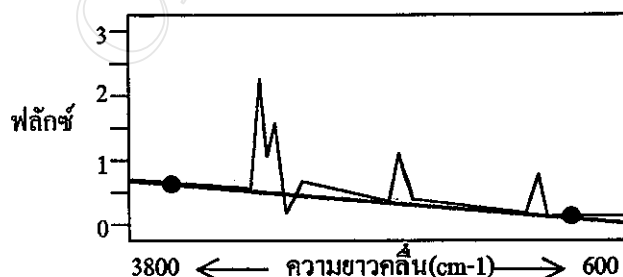
รูปที่ ก-2 แสดง Baseline corrected integral ระหว่างพิกเซลที่ 1 และ 2 แทนด้วยพื้นที่ที่ทึบ

ขั้นตอนการคำนวณพื้นที่ของพีค คือ คลิกไอคอน int บน control palette แล้วใช้ XY cursor ball เลื่อนไปที่จุดขอบเขตที่ต้องการหาพื้นที่ แล้วคลิกไอคอน int จะได้ตัวเลขปรากฏในหน้าต่างที่กำลังปรากฏอยู่ และถ้าเลือกเรียบร้อยแล้วปิดหน้าต่างนี้และดูผลการคำนวณที่ Process menu option : Integrals...

ก.3 ทฤษฎีการแก้ไขเส้นฐาน

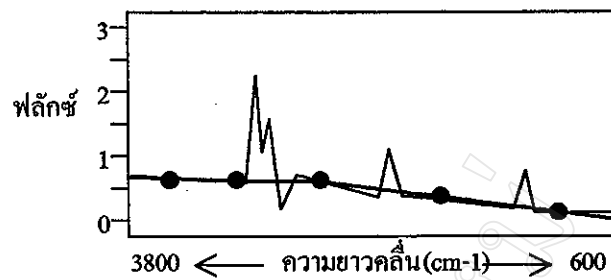
การแก้ไขเส้นฐาน (baseline correction) บางแบบที่สำคัญ ได้แก่

- (1).การแก้ไขเส้นฐานแบบ Simple offset correction คือ ค่าคงที่ y ถูกลบออกจากแต่ละจุดของสเปกตรัม
- (2).การแก้ไขเส้นฐานแบบเส้นฐาน 2 จุด คือ สร้างเส้นเชื่อมต่อระหว่างจุดเลือก 2 จุด ดังรูปที่ ก-3 แล้วลบมันออกจากแนวของเส้นที่ลากไว้ เส้นฐานคำนวณได้โดยใช้สมการเชิงเส้นมาตรฐาน (standard linear equation) คือ $y = Mx + B$ เมื่อ $M = (y_2 - y_1)/(x_2 - x_1)$ และ $B = y_1 - Mx_1$



รูปที่ ก-3 การแก้ไขเส้นฐานแบบเส้นฐาน 2 จุด

- (3).การแก้ไขเส้นฐานแบบเส้นฐานหลายจุด (multi-point baseline) คือ วิธีสร้างเส้นฐานโดยเชื่อมต่อจุดเลือกทุกจุดแล้วลบพวกมันออกจากแนวของเส้นที่ลากไว้ ดังรูปที่ ก-4



รูปที่ ก-4 การแก้ไขเส้นฐานแบบเส้นฐานหลายจุด

(4).การแก้ไขเส้นฐานแบบ Function fit baseline คือ การ fits ฟังก์ชันโพลิโนเมียล (polynomial function) จากดีกรี 1 ถึง 6 ($y = A + Bx^2 + Cx^3 + \dots$), ฟังก์ชันเอกซ์โปเนนเชียล [exponential function, $y = A \exp(Bx)$], ฟังก์ชันลอการิทึม [logarithm function, $y = A + B \ln(x)$], หรือฟังก์ชันกำลัง [power function, $y = Ax^B$] เป็นอนุกรมของจุดที่เราเลือก ดังรูปที่ ก-5 แล้วใช้ matrix inversion technique แก้ linear regression equation หาสัมประสิทธิ์ของฟังก์ชัน

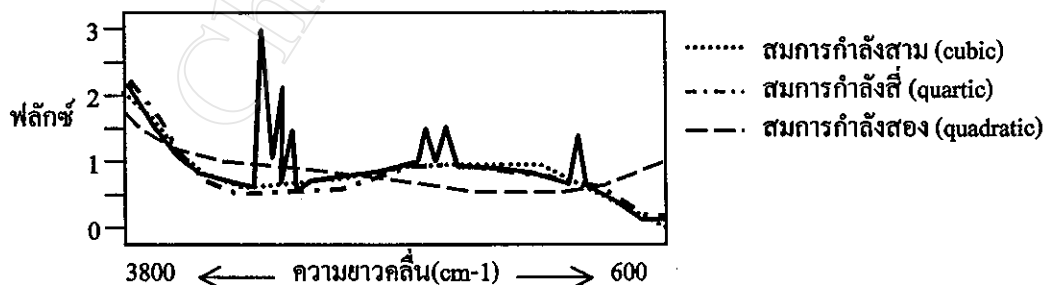
การหาสัมประสิทธิ์ของ fitted function $y(x) = a_1 + a_2x + a_3x^2 + \dots + a_Nx^{N-1}$ โดยให้

$$A = \begin{pmatrix} 1 & x_1 & x_1^2 & \dots & x_1^{N-1} \\ 1 & x_2 & x_2^2 & \dots & x_2^{N-1} \\ 1 & x_3 & x_3^2 & \dots & x_3^{N-1} \\ 1 & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & x_m & x_m^2 & \dots & x_m^{N-1} \end{pmatrix}, \quad b = \begin{pmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \\ \dots \\ y_m \end{pmatrix}, \quad a = \begin{pmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ \dots \\ a_{N-1} \end{pmatrix}$$

เมื่อ N = จำนวนสัมประสิทธิ์ = ดีกรีของโพลิโนเมียล+1, m = จำนวนจุดข้อมูลหรือพีคที่ถูก fitted, x_i = พิกัดของจุดบนแกน x , y_i = ค่า y ของจุดที่ถูกเลือก, a_i = สัมประสิทธิ์ของ fitted function

สัมประสิทธิ์ถูกกำหนดให้เท่ากับ $a = (A^T A)^{-1} A^T b$ ในการคำนวณ เทอมต่างๆ กำหนดได้ดังนี้ คือ

$$[\alpha] = A^T A = \alpha_{ij} = \sum_{i=0}^{N-1} x_i^j x_i^k, \quad [\beta] = A^T b = \sum_{i=0}^{N-1} y_i x_i^k \quad \text{ดังนั้น} \quad a = [\alpha]^{-1} [\beta]$$



รูปที่ ก-5 ภาพเส้นฐานของสมการกำลังสาม, สมการกำลังสี่, สมการกำลังสอง

ก.4 การใช้โปรแกรมอื่นร่วมกับเคสเทรอสเพลก ได้แก่ โน้ตแพด, เวอร์ดแพด, และไมโครซอฟท์เอ็กเซล

โปรแกรมทั้ง 3 นี้ สามารถเรียนรู้ได้ง่ายจากหนังสือคู่มือการใช้ของโปรแกรมนั้นๆ ดังนั้น ผู้เขียนจึงอธิบายเพียงหลักการทำงานและประโยชน์เกี่ยวกับงานวิจัยนี้ เพื่อเป็นแนวทางเท่านั้น ดังนี้

โปรแกรมโน้ตแพดของไมโครซอฟท์วินโดวส์ 95/NT ขึ้นไป

โน้ตแพด (Notepad) เป็นโปรแกรมใช้พิมพ์ บันทึกข้อความอย่างง่าย เหมือนสมุดบันทึกทั่วไป เข้าสู่โปรแกรมที่ Start: Programs: Accessories: Notepad บนแถบงาน (Taskbar) ของระบบปฏิบัติการวินโดวส์

หน้าที่ของโน้ตแพดสำหรับงานวิจัยนี้ คือ เป็นที่พักหรือบันทึกข้อมูลไฟล์ text (.txt) ที่ส่งออกมา (Export) จากโปรแกรมเคสเทรลสเปก ซึ่งเป็นการเปลี่ยนไฟล์ curve (.crv) หรือ image (.img) ให้อยู่ในรูปแบบไฟล์ .txt และกลับกันก็สามารถแปลงข้อมูลไฟล์ .txt เป็นไฟล์ .crv หรือ .img ซึ่งจะสามารถถ่ายโอนได้ก็ต่อเมื่อขนาดของข้อมูลไม่โตเกินกว่าค่าที่โปรแกรมเคสเทรลสเปกรับได้ นั่นคือ จำนวนข้อมูลของไฟล์ .txt ต้องน้อยกว่าหรือเท่ากับจำนวนพิกเซล จึงจะสามารถป้อนข้อมูลเข้าสู่ (Import) โปรแกรมเคสเทรลสเปกได้

โปรแกรมเวิร์ดแพดของไมโครซอฟท์วินโดวส์ 95/NT ขึ้นไป

เวิร์ดแพด (Wordpad) เป็นโปรแกรมประมวลผลคำ (word processing) สามารถจัดข้อความด้วยตัวอักษรแบบต่างๆ เช่น ตัวหนา, ตัวเอน ในขนาดต่างกันได้นอกจากนี้สามารถนำรูปภาพเข้ามาแสดงรวมอยู่ในเอกสารที่พิมพ์ได้ และเข้าสู่โปรแกรมที่ Start: Programs: Accessories: Wordpad บนแถบงานของระบบปฏิบัติการวินโดวส์ เมื่อเวิร์ดแพดเป็นโปรแกรมในระบบปฏิบัติการวินโดวส์ และให้ไฟล์ที่สามารถอยู่ในรูป .txt (หรือในสกุลอื่น เช่น .doc, .wri, และ .rtf)

หน้าที่ของเวิร์ดแพดในงานวิจัยนี้ คือ แสดงข้อมูลสเปกตรัมจำนวนมากเกินกว่าที่โน้ตแพดจะสามารถรับได้ เช่น ข้อมูลสเปกตรัมมาตรฐานของดาวที่เป็น high resolution ที่ใช้เทียบมาตรฐานสำหรับช่วงของสเปกตรัมเดียวกันที่ทำการศึกษาค้นคว้าของเราเป็น low resolution ซึ่งโน้ตแพดรับข้อมูลขนาดใหญ่เกินไปไม่ได้ ดังนั้น จึงใช้เวิร์ดแพดเป็นที่พักหรือบันทึกข้อมูลแทน ก่อนจะนำข้อมูลไปแยกหรือจัดการในโปรแกรมไมโครซอฟท์เอ็กเซล หรือ โปรแกรมเคสเทรลสเปก

โปรแกรมไมโครซอฟท์เอ็กเซลที่ทำงานภายใต้ระบบปฏิบัติการไมโครซอฟท์วินโดวส์ 95/NT ขึ้นไป

ไมโครซอฟท์เอ็กเซล (Microsoft excel) เป็นโปรแกรมหนึ่งที่ทำงานภายใต้ระบบปฏิบัติการวินโดวส์ ใช้จัดการกระดาศทำการ (worksheet หรือ spreadsheet) จัดความสามารถสูง ได้แก่ การคำนวณ, การจัดการฐานข้อมูล (database), การสร้างแผนภูมิ (chart), การใช้แผนที่ข้อมูล (data map), และการวาดรูปในแบบกราฟฟิก ตลอดจนการเชื่อมโยงกับอินเทอร์เน็ต เข้าสู่ไมโครซอฟท์เอ็กเซลที่ Start: Programs: Microsoft Excel บนแถบงานของระบบปฏิบัติการวินโดวส์

หน้าที่ของไมโครซอฟท์เอ็กเซลในงานวิจัยนี้ คือ ใช้คำนวณหาค่าการแก้ไขค่าความไว (sensitivity correction) ของกล้องซีซีดี (หรือใช้โปรแกรมเคสเทรลสเปกอย่างเดียวกันก็ได้), คำนวณวันจูเลียนศูนย์กลางสุริยะ, คำนวณเฟสการโคจร, และคำนวณฟลักซ์ของสมการ(ก.1) ของ Calibrated spectrum ดังรูปที่ 4-6 ซึ่งความเข้มเดิมอยู่ในหน่วยของแมกนิจูด (magnitude) และอื่นๆ เป็นต้น

ภาคผนวก ข

ความน่าจะเป็นในการเปลี่ยนสถานะของอะตอมไฮโดรเจน ฮีเลียม และนีออน

ข้อมูลความน่าจะเป็นในการเปลี่ยนสถานะของอะตอม (atomic transition probabilities) ได้มาจากหนังสือ ORC Handbook of Chemistry and Physics, 67th Edition ของ R. C. Weast, M. J. Astle และ W. H. Beyer ซึ่งข้อมูลในส่วนนี้ถูกรวบรวมและเรียบเรียงไว้โดย W. L. Wiese และ G. A. Martin โดยอาศัยข้อมูลจาก National Bureau of Standards Data Center ภายใต้การอุปถัมภ์ของ The Committee on Line Spectra of the Elements of the National Academy of Sciences-National Research Council

เนื่องจากว่าวิทยานิพนธ์นี้เป็นการศึกษาสเปกตรัมย่านมองเห็นได้ (visible spectrum) เฉพาะช่วงความยาวคลื่นประมาณ 560-733 นาโนเมตร (nm) ซึ่งเกี่ยวข้องกับอะตอมไฮโดรเจน (hydrogen, H) ฮีเลียม (helium, He) และนีออน (neon, Ne) และจะนำมาใช้อ้างอิงในงานวิจัยนี้ ดังตารางที่ ข-1

ตารางที่ ข-1 ข้อมูลความน่าจะเป็นในการเปลี่ยนสถานะของอะตอมไฮโดรเจน ฮีเลียม และนีออน

Atom	Wavelength [λ (nm)]	Transition	Upper energy level [E_k (cm ⁻¹)]	Statistical weight		Transition Probability [$A(10^8 \text{ s}^{-1})$]	Uncertainty
				g_i	g_k		
ไฮโดรเจน(H)	656.28	2-3($H\alpha$)	-	8	18	4.410(-1)	-
ฮีเลียม(He I)	587.57	-	186102	9	15	0.7053	AA
	667.82	-	186105	3	5	0.6339	AA
	706.52	-	183237	9	3	0.2786	AA
	728.14	-	184865	3	1	0.1829	AA
นีออน(Ne I)	565.26	-	167808	3	3	0.0089	D
	566.25	-	165913	3	3	0.0069	D
	585.25	-	152971	3	1	0.682	B
	586.84	-	167808	3	3	0.014	D
	588.19	-	151038	5	3	0.115	B
	591.36	-	167027	3	3	0.048	D
	593.93	-	166657	5	3	0.00200	B
	594.48	-	150859	5	5	0.113	B
	596.16	-	167808	3	3	0.033	D
	597.55	-	150772	5	3	0.0351	B
	603.00	-	151038	3	3	0.0561	B
	604.61	-	166657	3	3	0.00226	B
	607.43	-	150917	3	1	0.603	B
	609.62	-	150859	3	5	0.181	B

ตารางที่ ข-1 (ต่อ)

Atom	Wavelength [λ (nm)]	Transition	Upper energy level [E_k (cm ⁻¹)]	Statistical weight		Transition Probability [A(10 ⁸ s ⁻¹)]	Uncertainty
				g_i	g_k		
นีออน (Ne I)	611.80	-	166657	5	3	0.00609	B
	612.85	-	150772	3	3	0.0067	B
	614.31	-	150316	5	5	0.282	B
	615.03	-	167027	3	3	0.015	D
	616.36	-	151038	1	3	0.146	B
	621.73	-	150122	5	3	0.0637	B
	626.65	-	150772	1	3	0.249	B
	627.30	-	166975	3	3	0.0097	D
	629.37	-	166657	3	3	0.00639	B
	630.48	-	150316	3	5	0.0416	B
	632.82	-	166657	5	3	0.0339	B
	633.09	-	165913	3	3	0.023	D
	633.44	-	149824	5	5	0.161	B
	635.19	-	166657	1	3	0.00345	B
	638.30	-	150122	3	3	0.321	B
	640.11	-	166657	3	3	0.0139	B
	640.22	-	149657	5	7	0.514	B
	650.65	-	149824	3	5	0.300	B
	653.29	-	150122	1	3	0.108	B
	659.90	-	151038	3	3	0.232	B
	660.29	-	165913	3	3	0.0059	D
	665.21	-	150917	3	1	0.0029	B
	667.83	-	150859	3	5	0.233	B
	671.70	-	150772	3	3	0.217	B
	672.11	-	165913	3	3	4.9(-4)	D
	692.95	-	150316	3	5	0.174	B
	702.41	-	150122	3	3	0.0189	B
	703.24	-	148258	5	3	0.253	B
	705.13	-	162436	3	3	0.030	D
	705.91	-	162420	3	5	0.068	C
	717.39	-	149824	3	5	0.0287	B
	724.52	-	148258	3	3	0.0935	B
	730.48	-	166657	1	3	0.00255	B

เมื่อกำหนดให้

- ค่าความยาวคลื่น (wavelength) λ อยู่ในหน่วยนาโนเมตร (nm)
- การเปลี่ยนสถานะ (transition) สำหรับอะตอมไฮโดรเจนแทนด้วย เลขควอนตัมหลัก (principal quantum numbers) n สำหรับทั้ง 2 ระดับพลังงานที่เปลี่ยนสถานะระหว่างกัน
- ค่าพลังงานที่ระดับสูงกว่าในการเปลี่ยนสถานะ (upper atomic state) แทนด้วย E_k มีค่าอยู่ในหน่วย cm^{-1} ซึ่งแสดงไว้สำหรับอะตอมของธาตุใดๆ ยกเว้น อะตอมไฮโดรเจน เพราะว่าไฮโดรเจนมีการศึกษาไว้มากและรู้ชัดเจนว่ามีการเปลี่ยนสถานะระหว่างระดับพลังงานใด
- น้ำหนักทางสถิติ (statistical weights) ที่ระดับพลังงานที่ต่ำกว่าในการเปลี่ยนสถานะแทนด้วย g_i น้ำหนักทางสถิติที่ระดับพลังงานที่สูงกว่าของการเปลี่ยนสถานะ แทนด้วย g_k
- ถ้ามีเครื่องหมาย * บน g_k จะหมายถึงค่าความยาวคลื่นดังกล่าวเกิดจากการเฉลี่ยค่าความยาวคลื่นของแต่ละเส้นทั้ง Multiplet เนื่องจากความแตกต่างของพลังงานของแต่ละเส้นมีค่าน้อยมาก
- ความน่าจะเป็นในการเปลี่ยนสถานะ (transition probability) A มีค่าอยู่ในหน่วยของ 10^8 s^{-1}
- ค่าความไม่แน่นอนแบบประมาณ (estimated uncertainties) แทนด้วยสัญลักษณ์ ดังนี้

AA	หมายถึง มีค่าความไม่แน่นอน ประมาณ 1%
A	หมายถึง มีค่าความไม่แน่นอน ประมาณ 3%
B	หมายถึง มีค่าความไม่แน่นอน ประมาณ 10%
C	หมายถึง มีค่าความไม่แน่นอน ประมาณ 25%
D	หมายถึง มีค่าความไม่แน่นอน ประมาณ 50%

ภาคผนวก ก

ข้อมูลสเปกตรัมมาตรฐานของดาวเซตาเพกาซี

ดาวเซตาเพกาซี (ζ Pegasi) มีชื่อใน catalogue คือ HR8634 มีตำแหน่ง ไรต์แอสเซนชัน (α) เท่ากับ 22 ชั่วโมง 41 นาที 28 วินาที และเดคลิเนชัน (δ) เท่ากับ $+10^{\circ} 49' .9$ มีแมกนิจูดส่องสว่าง 3.4 มีชนิดสเปกตรัม B8V เป็นสมาชิกดวงหนึ่งในกลุ่มดาวม้าปีกหรือเพกาซัส (Pegasus) โดยจะนำข้อมูลสเปกตรัมมาตรฐาน หรือ Calibrated spectrum ของดาวเซตาเพกาซี มาใช้แก้ไขความไว (sensitivity) หรือเพื่อ Calibrate กล้องซีซีดีของเราให้อ่านข้อมูลสังเกตการณ์ออกมาถูกต้อง แต่ผู้เขียนจะไม่แก้ไขความไวที่กล้องซีซีดีโดยตรง แต่จะแก้ไขที่ข้อมูลของแต่ละภาพสเปกตรัม เมื่อกล้องซีซีดีที่ใช้สังเกตการณ์ของเรายังไม่ผ่านการ Calibrate ซึ่งวิธีการคำนวณหาค่าแก้ไขความไวและขบวนการหา Calibrated spectrums สำหรับภาพสเปกตรัมของเราที่ได้จากการสังเกตการณ์ ดูจากหัวข้อ 4.2.1 และ 4.2.2 ตามลำดับ

สำหรับสเปกตรัมมาตรฐานของดาวเซตาเพกาซีที่จะนำมาเทียบมาตรฐาน หรือ Calibrate ได้มาจาก Hamuy M. และคณะ (1992 และ 1994) ประกอบด้วย ความยาวคลื่นในหน่วยนาโนเมตร และค่าแมกนิจูดปรากฏ ดังตารางที่ ก-1 ด้วย linear dispersion ของค่าความยาวคลื่น เท่ากับ 1.6 นาโนเมตร และเนื่องจากข้อมูลความสว่างของเราวัดเป็นฟลักซ์ของโฟตอน ดังนั้น จึงทำการเปลี่ยนค่าแมกนิจูดของแต่ละค่าความยาวคลื่นไปเป็นฟลักซ์สัมบูรณ์ด้วยความสัมพันธ์ของฟลักซ์ความถี่เดียว F_{λ} และแมกนิจูดความถี่เดียว (monochromatic magintude) m_{λ} ดังสมการ

$$F_{\lambda} = 5.5 \times 10^6 \times \left(\frac{1}{\lambda} \right) \times 10^{-0.4m_{\lambda}} \quad (\text{ก.1})$$

เมื่อสมการ(ก.1) นี้ได้มาจาก Kannappan และ Fabricant (2000) ซึ่ง F_{λ} มีหน่วยเป็น $\text{photons cm}^{-2} \text{s}^{-1} \text{nm}^{-1}$, และ λ คือ ความยาวคลื่น มีหน่วยเป็นนาโนเมตร ถ้าเรากำนวณหาฟลักซ์สัมบูรณ์ ตามสมการ(ก.1) แล้วสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างฟลักซ์สัมบูรณ์กับความยาวคลื่น เราจะได้ภาพสเปกตรัมมาตรฐาน หรือ Calibrated spectrum ของดาวเซตาเพกาซี ด้วย linear dispersion = 1.6 nm ดังรูปที่ 4-6 ของบทที่ 4

ตารางที่ ค-1 ข้อมูลสเปกตรัมมาตรฐานของดาวเซตาเพกาซี มี linear dispersion เท่ากับ 1.6 นาโนเมตร

ความยาวคลื่น (nm)	แมกนิจูด (magnitude)	ฟลักซ์สัมบูรณ์ (photons cm ⁻² s ⁻¹ nm ⁻¹)
563.6	3.44	410.57425
565.2	3.45	407.15572
566.8	3.45	405.25917
568.4	3.46	400.78238
570.0	3.46	398.92186
571.6	3.47	395.24872
573.2	3.47	392.69603
574.8	3.47	390.16286
576.4	3.48	388.00625
578.0	3.48	386.22008
579.6	3.48	385.15391
581.2	3.48	385.51127
582.8	3.47	385.16175
584.4	3.47	383.75362
586.0	3.48	380.94745
587.6	3.49	376.42712
589.2	3.50	372.64899
590.8	3.49	372.66809
592.4	3.50	370.97756
594.0	3.50	367.60063
595.6	3.51	364.59273
597.2	3.51	362.61260
598.8	3.52	359.65069
600.4	3.52	359.02278
602.0	3.52	356.75182
603.6	3.53	353.84532
605.2	3.53	351.93606
606.8	3.53	350.03955
608.4	3.54	347.83516
610.0	3.54	345.96555
611.6	3.54	343.79156
613.2	3.55	341.31906

ความยาวคลื่น (nm)	แมกนิจูด (magnitude)	ฟลักซ์สัมบูรณ์ (photons cm ⁻² s ⁻¹ nm ⁻¹)
614.8	3.56	338.24301
616.4	3.56	336.43414
618.0	3.56	335.56311
619.6	3.56	334.38846
621.2	3.56	332.60689
622.8	3.57	329.62040
624.4	3.58	326.96389
626.0	3.58	324.62978
627.6	3.60	318.77170
629.2	3.61	315.62688
630.8	3.60	316.57091
632.4	3.60	317.22750
634.0	3.60	315.26331
635.6	3.60	313.60198
637.2	3.60	312.23884
638.8	3.60	312.03103
640.4	3.60	311.25144
642.0	3.61	309.33400
643.6	3.61	307.99712
645.2	3.61	305.82172
646.8	3.62	304.22344
648.4	3.62	302.35676
650.0	3.62	300.50336
651.6	3.63	297.01721
653.2	3.65	291.14981
654.8	3.76	263.42320
656.4	3.93	224.90241
658.0	3.75	265.54419
659.6	3.66	287.00010
661.2	3.64	290.02127
662.8	3.64	289.32115
664.4	3.65	288.35870

ตารางที่ ค-1 (ต่อ)

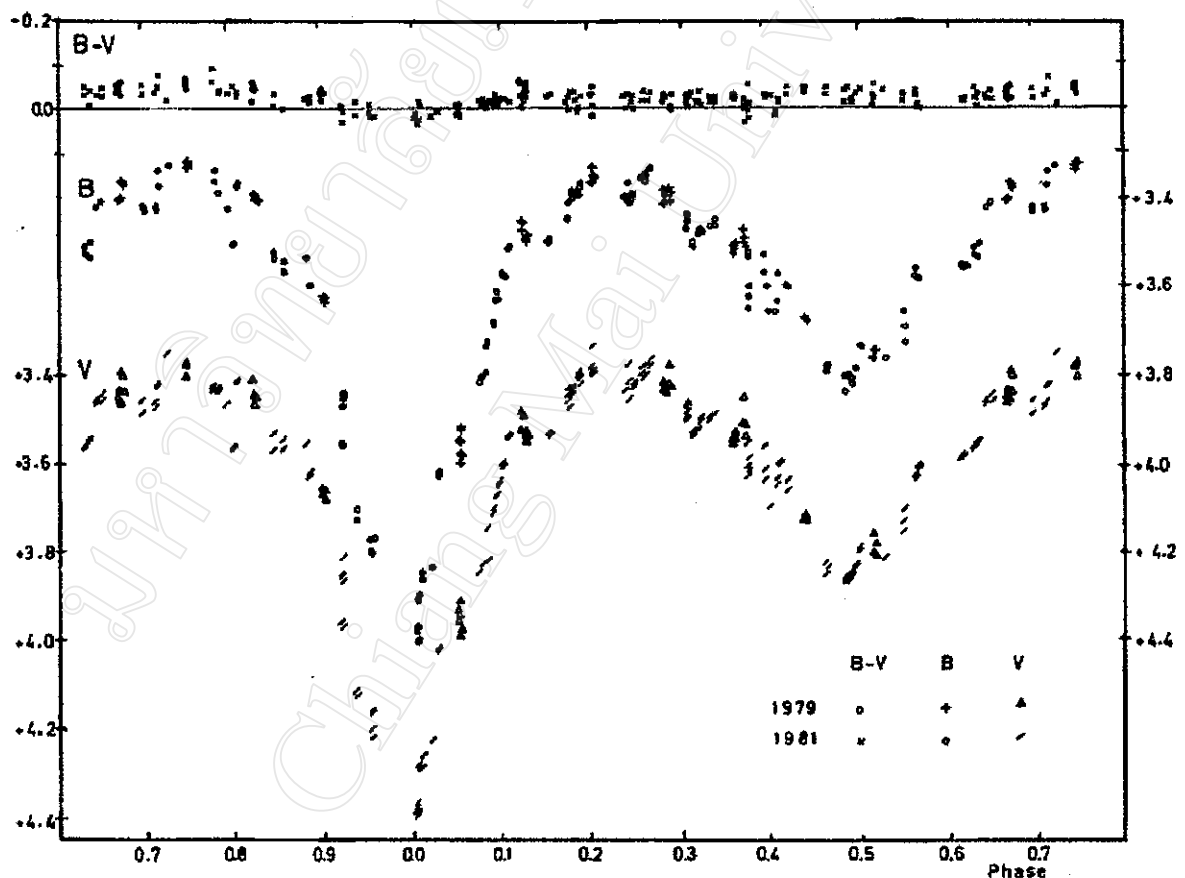
ความยาวคลื่น (nm)	แมกนิจูด (magnitude)	ฟลักซ์สัมบูรณ์ (photons cm ⁻² s ⁻¹ nm ⁻¹)
666.0	3.65	287.40112
667.6	3.65	285.65798
669.2	3.65	285.50042
670.8	3.65	284.55724
672.4	3.65	282.83619
674.0	3.66	281.12715
675.6	3.66	279.68749
677.2	3.67	277.74467
678.8	3.67	276.07104
680.4	3.67	274.40902
682.0	3.68	272.75851
683.6	3.68	271.36925
685.2	3.70	266.52953
686.8	3.84	234.17062
688.4	3.85	230.42088
690.0	3.81	238.73363
691.6	3.76	250.09655
693.2	3.73	255.56662
694.8	3.72	256.62731
696.4	3.71	258.16890
698.0	3.72	257.10307
699.6	3.73	254.39753

ความยาวคลื่น (nm)	แมกนิจูด (magnitude)	ฟลักซ์สัมบูรณ์ (photons cm ⁻² s ⁻¹ nm ⁻¹)
701.2	3.73	253.58338
702.8	3.73	252.30795
704.4	3.73	251.04024
706.0	3.74	249.55024
707.6	3.74	248.52774
709.2	3.74	247.96704
710.8	3.74	246.72620
712.4	3.75	245.26681
714.0	3.75	243.59282
715.6	3.76	240.81989
717.2	3.80	232.44618
718.8	3.83	224.98555
720.4	3.82	226.56300
722.0	3.79	232.82279
723.6	3.82	226.39359
725.2	3.82	224.64921
726.8	3.82	224.56795
728.4	3.82	224.28114
730.0	3.81	225.02969
731.6	3.81	225.15883
733.2	3.80	226.95525

ภาคผนวก ง

ข้อมูลกราฟแสงของดาวคู่บีตาไลรี ในปี พ.ศ. 2522 และ 2524

ข้อมูลกราฟแสงของดาวคู่บีตาไลรีโดยวิธี BV Photometry สำหรับ ปี พ.ศ. 2522 และ 2524 โดย Z. Aslan, E. Derman, S.Engin, และ N. Yilmaz ภาควิชาดาราศาสตร์ มหาวิทยาลัยอันการา (Ankara of University) ประเทศตุรกี (Turkey) โดยใช้เครื่อง EMI 6256S Photomultiplier ติดกับกล้องโทรทรรศน์ Maksutov ขนาด 30 เซนติเมตร ที่หอดูดาวมหาวิทยาลัยอันการา ซึ่งข้อมูลสังเกตการณ์แสดงออกมาอยู่ในรูปของกราฟแสง (light curves) สำหรับแผ่นกรองแสง (filters) B-V, B, และ V ใน ปี พ.ศ. 2522 และ 2524 ดังรูปที่ ง-1



รูปที่ ง-1 กราฟแสงของดาวคู่บีตาไลรี ปี พ.ศ. 2522 (ค.ศ. 1979) และ 2524 (ค.ศ. 1981)
สำหรับแผ่นกรองแสง B-V, B, และ V [Aslan et al., 1987]

ภาคผนวก จ

ค่าคงที่

ค่าคงที่ทางดาราศาสตร์

มวลของดวงอาทิตย์ (Solar mass)	$1M_{Sun} = 1.989 \times 10^{33} \text{ g}$
กำลังการส่องสว่างของดวงอาทิตย์ (Solar luminosity)	$1L_{Sun} = 3.826 \times 10^{33} \text{ ergs s}^{-1}$
รัศมีของดวงอาทิตย์ (Solar radius)	$1R_{Sun} = 6.9599 \times 10^{10} \text{ cm}$
อุณหภูมิสัมพัทธ์ของดวงอาทิตย์ (Solar effective temperature)	$T_{Sun} = 5770 \text{ K}$
หนึ่งปีแสง (Light year)	$1ly = 9.4605 \times 10^{17} \text{ g}$
พาร์เซก (Parsec)	$1pc = 3.0857 \times 10^{18} \text{ cm}$ $= 3.2616 \text{ ly}$
หน่วยทางดาราศาสตร์ (Astronomical unit)	$1AU = 1.4960 \times 10^{13} \text{ cm}$

ค่าคงที่ทางฟิสิกส์

ค่าคงที่ทางความโน้มถ่วง (Gravitational constant)	$G = 6.67259 \times 10^{-8} \text{ dyne cm}^2 \text{ g}^{-2}$
อัตราเร็วของแสง (Speed of light)	$c = 2.99792458 \times 10^{10} \text{ cm s}^{-1}$
ค่าคงที่ของพลังค์ (Planck's constant)	$h = 6.6260755 \times 10^{-27} \text{ erg s}$ $\hbar = h/2\pi$ $= 1.05457266 \times 10^{-27} \text{ erg s}$
ค่าคงที่ของโบลทซ์มานน์ (Boltzmann's constant)	$k = 1.380658 \times 10^{-16} \text{ erg K}^{-1}$
ค่าคงที่ของสเตฟาน-โบลทซ์มานน์ (Stefan-Boltzmann constant)	$\sigma = 5.67051 \times 10^{-5} \text{ erg cm}^{-2} \text{ s}^{-1} \text{ K}^{-4}$
ค่าคงที่ของการแผ่รังสี (Radiation constant)	$a = 4\sigma/c$ $= 7.56591 \times 10^{-15} \text{ erg cm}^{-3} \text{ K}^{-4}$
มวลของโปรตอน (Proton mass)	$m_p = 1.6726231 \times 10^{-24} \text{ g}$
มวลของนิวตรอน (Neutron mass)	$m_n = 1.674929 \times 10^{-24} \text{ g}$
มวลของอิเล็กตรอน (Electron mass)	$m_e = 9.1093897 \times 10^{-28} \text{ g}$
มวลของไฮโดรเจน (Hydrogen mass)	$m_H = 1.673534 \times 10^{-24} \text{ g}$
หน่วยมวลอะตอม (Atomic mass unit)	$1u = 1.6605402 \times 10^{-24} \text{ g}$ $= 931.49432 \text{ MeV/c}^2$
ค่าคงที่ของกฎคูลอมบ์ (Coulomb law constant)	[cgs] $k_C = 1$ [SI] $= 8.9875518 \times 10^9 \text{ N m}^2 \text{ C}^{-2}$
ค่าประจุไฟฟ้า (Electric charge)	[cgs] $e = 4.803206 \times 10^{-10} \text{ esu}$ [SI] $= 1.60217733 \times 10^{-19} \text{ C}$

อิเล็กตรอนโวลต์ (Electron volt)

$$1eV = 1.60217733 \times 10^{-12} \text{ erg}$$

เลขอวาగాโดร (Avogadro's number)

$$N_A = 6.0221367 \times 10^{23} \text{ mole}^{-1}$$

ค่าคงที่ของก๊าซ (Gas constant)

$$R = 8.314510 \times 10^7 \text{ ergs mole}^{-1} \text{ K}^{-1}$$

รัศมีของบอห์ร (Bohr radius)

$$a_0 = \hbar^2 / m_e e^2$$

$$= 5.29177249 \times 10^{-9} \text{ cm}$$

Rydberg constant (ค่าคงที่ของริดเบิร์ก)

$$R_H = \mu e^4 / 4\pi\hbar^3 c$$

$$= 1.09677585 \times 10^5 \text{ cm}^{-1}$$

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Chiang Mai University

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ นายเฉลา วงศ์แสง

วัน เดือน ปี เกิด 31 มีนาคม 2515

ประวัติการศึกษา

ปีการศึกษา 2528
 สำเร็จการศึกษาระดับประถมศึกษา โรงเรียนรังงามวิทยา
 ตำบลรังงาม อำเภอเนินสง่า จังหวัดชัยภูมิ

ปีการศึกษา 2531
 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนฉิมพลีวิทยา
 ตำบลหนองฉิม อำเภอเนินสง่า จังหวัดชัยภูมิ

ปีการศึกษา 2534
 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนจัตุรัสวิทยาคาร
 ตำบลกุดน้ำใส อำเภोजัตุรัส จังหวัดชัยภูมิ

ปีการศึกษา 2538
 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์
 มหาวิทยาลัยรามคำแหง เขตบางกะปิ จังหวัดกรุงเทพมหานคร