หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

การวิจัยนี้ได้ทำการทดลอง 2 ส่วนไปพร้อมๆ กันคือ **การสังเกตอุกกาบาตด้วยตาเปล่า** และ **การถ่ายรูปอุกกาบาต** โดยทำการวิจัยในตอนกลางคืนที่ไม่มีแสงจันทร์มารบกวน ในวันที่ 1 พฤศจิกายน พ.ศ.2531 - 3 เมษายน พ.ศ.2533 ทำการวิจัยที่ศูนย์พัฒนาศาสนา มหาจุฬาลงกรณ์ราชวิทยาลัย ต.แคมป์สน จ.เพชรบูรณ์ ละติจูด 16.42 เป็นเวลา 17 วัน รวม 81 ชั่วโมง ส่วนในวันที่ 1 พฤษภาคม พ.ศ.2532 - 5 พฤษภาคม พ.ศ.2532 ทำการวิจัยที่ จ.สิงห์บุรี ละติจูด 14.88 เป็นเวลา 5 วัน รวม 20.2 ชั่วโมง และในวันที่ 31 สิงหาคม พ.ศ.2532 - 27 เมษายน พ.ศ.2533 ทำการวิจัยที่ จ.พิษณุโลก ละติจูด 16.82 เป็นเวลา 43 วัน รวม 172.9 ชั่วโมง รวมเวลาที่ทำการวิจัยครั้งนี้ทั้งหมดเป็นเวลา 65 วัน รวมทั้งหมด 274.1 ชั่วโมง

<u>การสังเกตอุกกาบาตด้วยตาเปล่า</u>.

ได้ทำการสังเกตอุกกาบาตว่าเป็นประเภท sporadic หรือ shower และบันทึกวันเวลาที่ปรากฏให้เห็น และลักษณะต่างๆ เช่น สี เสียง การแตกปลาย และเส้นทางที่ปรากฏลงบนแผนที่ดาว ซึ่งได้แสดงไว้ใน **ภาคผนวก ก** จากข้อมูลการสังเกตดังกล่าวสามารถนำมาหา Hour Rate (HR) ของอุกกาบาต ในแต่ละวันที่สังเกตได้ดัง **ตารางที่ 4.1** จากตารางนี้จะเห็นว่า ช่วงเวลาที่สังเกตทั้งหมด 274.1 ชั่วโมง ได้เห็นอุกกาบาตทั้งหมด 391 ดวง ซึ่งเป็น sporadic 221 ดวง (HR เท่ากับ 0.8 ดวง/ชั่วโมง) และ shower 170 ดวง (HR เท่ากับ 0.6 ดวง/ชั่วโมง) และในวันที่เห็นอุกกาบาตมากที่สุด คือ ในคืนวันที่ 2 พฤศจิกายน พ.ศ.2531 เห็นอุกกาบาตถึง 41 ดวง เป็น sporadic 17 ดวง (HR เท่ากับ 3.8 ดวง/ชั่วโมง) และเป็น shower ที่ชื่อ Taurids ถึง 24 ดวง (HR เท่ากับ 5.3 ดวง/ชั่วโมง)

ใน **ตารางที่** 4.2 เป็นการแสดงผลการสังเกตอุกกาบาตด้วยตาเปล่าในแต่ละเดือน ยกเว้นเดือนมีนาคม, มิถุนายน และ กรกฎาคม ไม่ได้สังเกต จากตารางนี้นำไปเขียนกราฟ จะได้ Hour Rate ของอุกกาบาตในแต่ละเดือนดัง **รูปที่** 4.1 จะเห็นว่าในเดือนพฤศจิกายน เห็นอุกกาบาตรวมมากที่สุด(HR เท่ากับ 2.5 ดวง/ชั่วโมง) ส่วนเดือนกุมภาพันธ์เห็นอุกกาบาตน้อยที่สุด (HR เท่ากับ 0.6 ดวง/ชั่วโมง) และ shower ในเดือนพฤศจิกายนเห็นมากที่สุด (HR เท่ากับ 1.4 ดวง/ชั่วโมง) ส่วนในเดือนกุมภาพันธ์ ไม่เห็น shower เลย ส่วน sporadic เห็นมากที่สุดในเดือนพฤษภาคม และพฤศจิกายน (HR เท่ากับ 1.1 ดวง/ชั่วโมง) และเห็น sporadic น้อยที่สุดในเดือนตุลาคม และสิงหาคม (HR เท่ากับ 0.5 ดวง/ชั่วโมง)

ในตารางที่ 4.3 เป็นการแสดงผลการสังเกตอุกกาบาตด้วยตาเปล่าในแต่ละชั่วโมง ตั้งแต่เวลา 19.00 - 06.00 น. ซึ่งนำมาเขียนกราฟแสดง Hour Rate ได้ดัง**รูปที่** 4.2 จะเห็นอุกกาบาตมากที่สุดในช่วงเวลา 05.00 - 06.00 น. มี HR ถึง 5.0 ดวง/ชั่วโมง ซึ่งเป็นประเภท shower ทั้งหมดเลย ส่วนในช่วงเวลา 19.00 - 20.00 น. จะเห็นอุกกาบาตน้อยที่สุด (HR เท่ากับ 0.7 ดวง/ชั่วโมง) ซึ่งเป็นประเภท sporadic ทั้งหมด จะเห็น shower มากที่สุดในช่วงเวลา 05.00 - 06.00 น. (HR เท่ากับ 5.0 ดวง/ชั่วโมง) และไม่เห็น shower เลยในช่วงเวลา 19.00 - 20.00 น. ส่วน sporadic จะเห็นมากที่สุดในช่วงเวลา 03.00 - 04.00 น. (HR เท่ากับ 2.0 ดวง/ชั่วโมง) และไม่เห็น sporadic เลยในช่วงเวลา 05.00 - 06.00 น.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.1 ผลการสังเกตอุกกาบาตในแต่ละวัน

หมายเหตุ 1 พ.ย.2531 - 3 เม.ย.2532 สังเกตที่ จ.เพชรบูรณ์ ละติจูด 16.42

1 พ.ค.2532 - 5 พ.ค.2532 สังเกตที่ จ.สิงห์บุรี ละติจูด 14.88

31 ส.ค.2532 - 27 เม.ย.2533 สังเกตที่ จ.พิษณุโลก ละติจูด 16.82

วันที่	ช่วงเวลา (น.)	นาน (ช.ม.)	shower		sporadic		อุกกาบาตทั้งหมด	
			จำนวน (ดวง)	HR (ดวง/ช.ม.)	จำนวน (ดวง)	HR (ดวง/ช.ม.)	จำนวน (ดวง)	HR (ดวง/ชม.)
1 พ.ย.31	19.30-24.30	5.0	15 Taurids	3.0	11	2.2	26	5.2
2 พ.ย.31	21.00-01.30	4.5	24 Taurids	5.3	17	3.8	41	9.1
3 พ.ย.31	21.00-24.00	3.0	8 Taurids	2.7	6	2.0	14	4.7
4 พ.ย.31	19.00-02.30	7.5	18 Taurids	2.4	10	1.3	28	3.7
2 ธ.ค.31	19.30-24.30	5.0	3 Taurids	0.6	3	0.6	6	1.2
3 ธ.ค.31	19.00-24.40	5.7	1 Taurids	0.2	4	0.7	5	0.9
4 ธ.ค.31	19.00-01.40	6.7	4 Taurids	0.6	12	1.8	16	2.4
3 ม.ค.32	20.20-24.30							
	03.10-05.05	6.1	10 Quadrantids	1.6	5	0.8	15	2.4
4 ม.ค.32	01.14-05.07	3.9	8 Quadrantids	2.1	6	1.5	14	3.6
5 ม.ค.32	01.00-03.07	2.1	1 Quadrantids	0.5	1	0.5	2	1.0
6 ม.ค.32	22.03-02.10	4.1	2 Quadrantids	0.5	7	1.7	9	2.2
3 ก.พ.32	19.34-22.21	2.8	0	0.0	4	1.4	4	1.4
4 ก.พ.32	19.22-20.54	1.5	0	0.0	1	0.7	1	0.7
5 ก.พ.32	19.00-24.50	5.8	0	0.0	3	0.5	3	0.5
1 เม.ย.32	20.07-20.45	0.6	0	0.0	1	1.7	1	1.7
2 เม.ย.32	19.17-03.30	8.2	0	0.0	24	2.9	24	2.9
3 เม.ย.32	19.30-04.00	8.5	0	0.0	3	0.4	3	0.4
1 พ.ค.32	24.00-02.30	2.5	0	0.0	0	0.0	0	0.0
2 พ.ค.32	24.20-03.40	3.3	0	0.0	2	0.6	2	0.6
3 พ.ค.32	23.00-05.00	6.0	3 η Aquarids	0.5	13	2.2	16	2.7
4 พ.ค.32	23.00-04.40	5.7	9 η Aquarids	1.6	4	0.7	13	2.3
5 พ.ค.32	23.00-01.40	2.7	0	0.0	0	0.0	0	0.0
1 ส.ค.32	22.00-03.50	5.8	2 Perseids	0.3	3	0.5	5	0.8
2 ก.ย.32	23.30-01.00	1.5	0	0.0	1	0.7	1	0.7
30 ก.ย.32	22.30-01.40	3.2	2 Taurids	0.6	3	0.9	5	1.5
1 ต.ค.32	22.30-02.00	3.5	0	0.0	3	0.9	3	0.9
24 ต.ค.32	21.00-02.30	5.5	7 Orionids	1.3	0	0.0	7	1.3
25 ต.ค.32	21.30-03.00	5.5	5 Taurids	0.9	1	0.2	6	1.1
26 ต.ค.32	20.30-01.00	4.5	0	0.0	1	0.2	1	0.2
27 ต.ค.32	22.00-24.30	2.5	2 Taurids	0.8	3	1.2	5	2.0
29 ต.ค.32	22.00-02.30	4.5	2 Taurids	0.4	2	0.4	4	0.8
30 ต.ค.32	21.30-03.30	6.0	8 Taurids	1.3	4	0.7	12	2.0
31 ต.ค.32	22.30-04.00	5.5	5 Taurids	0.9	3	0.5	8	1.4

ตารางที่ 4.1 (ต่อ)

วันที่	ช่วงเวลา (น.)	นาน (ช.ม.)	shower		sporadic		อุกกาบาตทั้งหมด	
			จำนวน (ดวง)	HR (ดวง/ช.ม.)	จำนวน (ดวง)	HR (ดวง/ช.ม.)	จำนวน (ดวง)	HR (ดวง/ช.ม.)
1 พ.ย.32	21.30-03.20	5.8	4 Taurids	0.7	0	0.0	4	0.7
4 พ.ย.32	22.00-24.30	2.5	1 Taurids	0.4	1	0.4	2	0.8
24 พ.ย.32	22.30-02.20	3.8	0	0.0	2	0.5	2	0.5
25 พ.ย.32	23.00-02.20	3.3	0	0.0	2	0.6	2	0.6
26 พ.ย.32	22.20-03.10	4.8	0	0.0	5	1.0	5	1.0
27 พ.ย.32	21.30-01.40	4.2	0	0.0	1	0.2	1	0.2
29 พ.ย.32	22.00-03.50	5.8	4 Taurids	0.7	5	0.9	9	1.6
30 พ.ย.32	22.30-02.00	3.5	0	0.0	0	0.0	0	0.0
3 ธ.ค.32	22.30-03.10	4.7	2 Taurids	0.4	4	0.9	6	1.3
4 ธ.ค.32	22.30-03.20	4.8	3 Taurids	0.6	4	0.8	7	1.4
5 ธ.ค.32	22.30-03.20	4.8	1 Taurids	0.2	5	1.0	6	1.2
19 ธ.ค.32	21.30-24.40	3.2	0	0.0	0	0.0	0	0.0
20 ธ.ค.32	22.00-01.30	3.5	1 Geminid	0.3	0	0.0	1	0.3
21 ธ.ค.32	22.00-02.20	4.3	2 Geminids	0.5	0	0.0	2	0.5
22 ธ.ค.32	22.00-01.30	3.5	0	0.0	3	0.9	3	0.9
23 ธ.ค.32	23.30-03.10	3.7	2 Geminids	0.5	2	0.5	4	1.0
25 ธ.ค.32	22.00-02.30	4.5	2 Geminids	0.4	1	0.2	3	0.6
26 ธ.ค.32	21.30-01.10	3.7	0	0.0	2	0.5	2	0.5
23 ม.ค.33	22.00-02.00	4.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0
24 ม.ค.33	22.00-23.30	1.5	0	0.0	0	0.0	0	0.0
25 ม.ค.33	21.30-22.30	1.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0
28 ม.ค.33	19.10-24.30	5.3	0	0.0	0	0.0	0	0.0
20 ก.พ.33	22.00-23.30	1.5	0	0.0	2	1.3	2	1.3
21 ก.พ.33	22.00-02.40	4.7	0	0.0	1	0.2	1	0.2
23 ก.พ.33	22.00-24.00	2.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0
26 ก.พ.33	23.30-02.40	3.2	0	0.0	1	0.3	1	0.3
22เม.ย.33	20.00-03.10	7.2	2 Lyrids	0.3	8	1.1	10	1.4
23เม.ย.33	20.30-02.15	5.8	2 Lyrids	0.3	2	0.3	4	0.6
24เม.ย.33	21.30-01.46	4.3	1 Lyrid	0.2	4	0.9	5	1.1
25เม.ย.33	21.00-23.50	2.8	0	0.0	0	0.0	0	0.0
26เม.ย.33	22.00-24.40	2.7	2 Lyrids	0.7	2	0.7	4	1.4
27เม.ย.33	22.00-02.30	4.5	2 Lyrids	0.4	3	0.7	5	1.1
65 วัน	รวม	274.1	170	0.6	221	0.8	391	1.4

ตารางที่ 4.2 ผลการสังเกตอุกกาบาตเดือน พ.ย.2531 - เม.ย.2533 ในแต่ละเดือน

เดือน	จำนวนชั่วโมง (ชั่วโมง)	shower		sporadic		อุกกาบาตทั้งหมด	
		จำนวน (ดวง)	HR (ดวง/ช.ม.)	จำนวน (ดวง)	HR (ดวง/ช.ม.)	จำนวน (ดวง)	HR (ดวง/ช.ม.)
มกราคม	28.0	21	0.8	19	0.7	40	1.5
กุมภาพันธ์	21.5	0	0.0	12	0.6	12	0.6
มีนาคม	ไม่ได้สังเกต	–	–	–	–	–	–
เมษายน	44.6	9	0.2	47	1.1	56	1.3
พฤษภาคม	20.2	12	0.6	19	0.9	31	1.5
มิถุนายน	ไม่ได้สังเกต	–	–	–	–	–	–
กรกฎาคม	ไม่ได้สังเกต	–	–	–	–	–	–
สิงหาคม	5.8	2	0.3	3	0.5	5	0.8
กันยายน	4.7	2	0.4	4	0.9	6	1.3
ตุลาคม	37.5	29	0.8	17	0.5	46	1.3
พฤศจิกายน	53.7	74	1.4	60	1.1	134	2.5
ธันวาคม	58.1	21	0.4	40	0.7	61	1.1

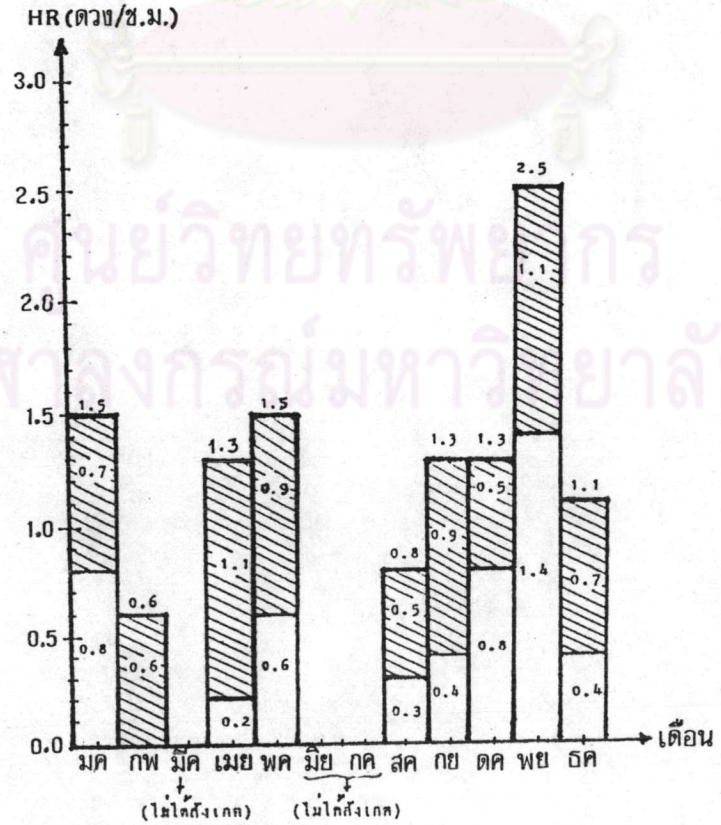
รูปที่ 4.1 กราฟแท่งแสดง Hour Rate ของอุกกาบาตที่สังเกตได้ในแต่ละเดือน

(ยกเว้นเดือนมีนาคม,มิถุนายน และกรกฎาคม ไม่ได้สังเกต)

โดยที่ ตัวเลขบนสุดของกราฟหมายถึง HR รวมของแต่ละเดือน

▨ แสดง HR ของ sporadic ในแต่ละเดือน

และ □ แสดง HR ของ shower ในแต่ละเดือน



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.3 ผลการสังเกตอุกกาบาตเดือน พ.ย.2531 - เม.ย.2533 ในแต่ละช่วงเวลา

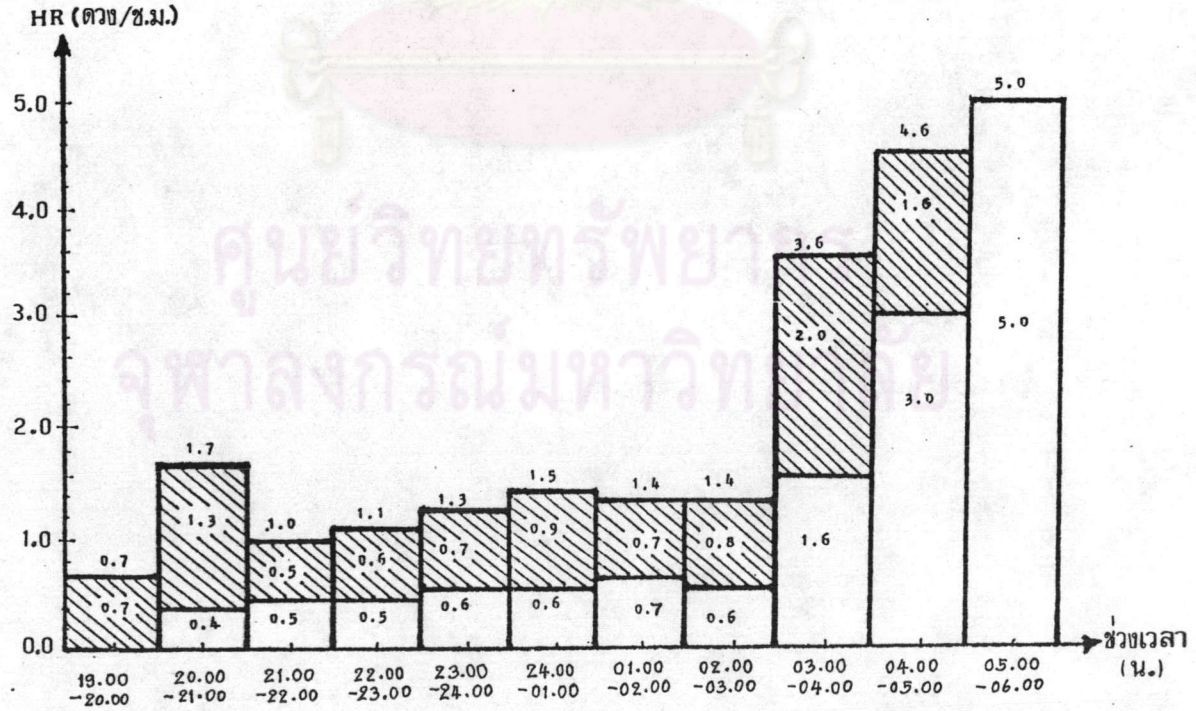
ช่วงเวลา (น.)	จำนวนชั่วโมง (ชั่วโมง)	shower		sporadic		อุกกาบาตทั้งหมด	
		จำนวน (ดวง)	HR (ดวง/ช.ม.)	จำนวน (ดวง)	HR (ดวง/ช.ม.)	จำนวน (ดวง)	HR (ดวง/ช.ม.)
19.00-20.00	8.1	0	0.0	6	0.7	6	0.7
20.00-21.00	14.2	6	0.4	18	1.3	24	1.7
21.00-22.00	22.0	12	0.5	11	0.5	23	1.0
22.00-23.00	46.5	22	0.5	27	0.6	49	1.1
23.00-24.00	54.3	30	0.6	37	0.7	67	1.3
24.00-01.00	49.5	29	0.6	46	0.9	75	1.5
01.00-02.00	39.9	26	0.7	27	0.7	53	1.4
02.00-03.00	24.8	16	0.6	21	0.8	37	1.4
03.00-04.00	10.9	17	1.6	22	2.0	39	3.6
04.00-05.00	3.7	11	3.0	6	1.6	17	4.6
05.00-06.00	0.2	1	5.0	0	0.0	1	5.0

รูปที่ 4.2 กราฟแสดง Hour Rate ของอุกกาบาตที่สังเกตได้ในแต่ละช่วงเวลา

โดยที่ ตัวเลขบนสุดของกราฟหมายถึง HR รวม ในแต่ละช่วงเวลา

แสดง HR ของ sporadic ในแต่ละช่วงเวลา

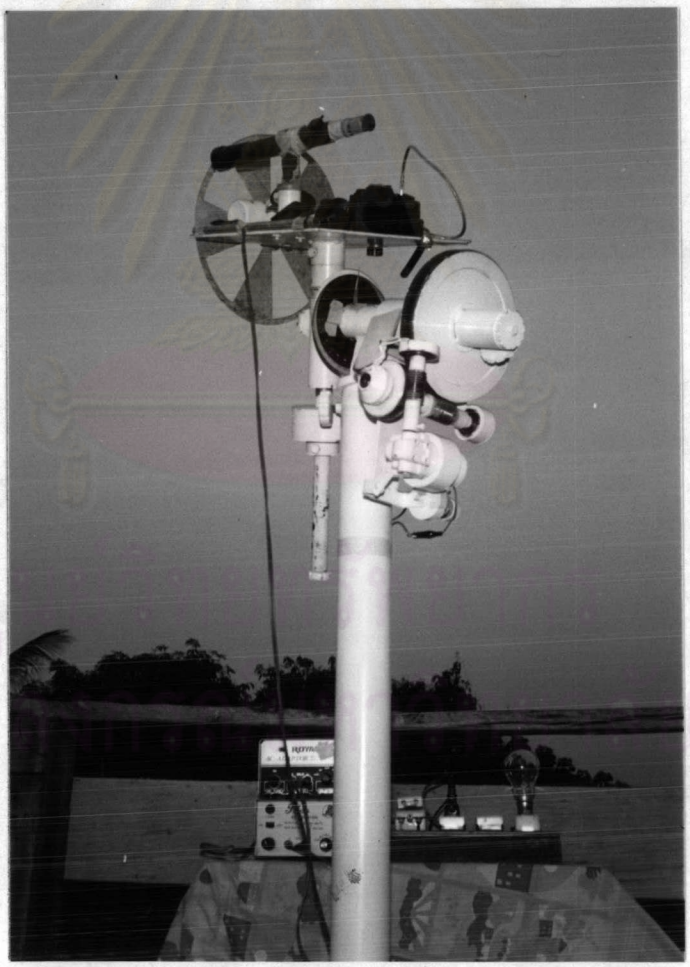
และ แสดง HR ของ shower ในแต่ละช่วงเวลา



การถ่ายรูปอุกกาบาต

การวิจัยนี้ ได้ออกแบบสร้างแท่นตั้งกล้องถ่ายรูปอุกกาบาต และ ใบพัดตัดหน้ากล้อง โดยให้ แท่นตั้งกล้องติดมอเตอร์ หมุนตามดาวฤกษ์ด้วยเฟือง 2 ชุด ให้มีขนาดพอเหมาะ ซึ่งเฟือง 2 ชุดนี้ จะเป็นตัวขับแกน Hour Angle (HA) ให้หมุนเท่ากับความเร็วของโลกหมุนรอบตัวเอง ส่วนแกน Declination นั้นเราสามารถหมุนได้ด้วยมือซึ่งเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้แสดงดังรูปที่ 4.3

รูปที่ 4.3 เครื่องมือที่ใช้ถ่ายรูปอุกกาบาต



การติดตั้งเครื่องมือ และตั้งสเกล Hour Angle และ Declination ทำดังนี้

1. ปรับแกน Hour Angle ให้ทำมุมกับพื้นราบเป็นมุมเท่ากับละติจูดของสถานที่นั้น เช่น ที่จังหวัดพิษณุโลก ละติจูด $16^{\circ}.82$ ก็ปรับแกน Hour Angle ให้เงยทำมุมกับพื้นราบเท่ากับ $16^{\circ}.82$ แล้วใช้เข็มทิศช่วยในการหาแนววางขาตั้งกล้องให้หันแกนนี้ไปทางทิศเหนือ
2. ตั้งกล้องส่องนำ และกล้องถ่ายรูป ให้ขนานกับแกน Hour Angle แล้วล็อคให้แน่น พร้อมทั้งล็อคแกน Hour Angle ด้วย หมุนแกน Declination ไปทางตะวันออก 90° แล้วหมุนสเกล Hour Angle ให้เข็มชี้ที่ $18^{h}\ 00^{m}$ ซึ่งเป็น Hour Angle ของตำแหน่งจุดทิศตะวันออก
3. หมุนแกน Declination พร้อมกับดูในกล้องส่องนำ ให้เห็นดาวเหนืออยู่ที่กึ่งกลางของกล้องส่องนำ แล้วให้ล็อคแกน Declination แล้วใช้ปากกาขีดทำเครื่องหมายที่สเกล Declination ขีดให้ตรงกับสเกล 90° ซึ่งเป็น Declination ของตำแหน่งดาวเหนือ

ที่กล่าวมาข้างต้นนี้เป็นวิธีการติดตั้งเครื่องมือและสเกลที่บอกตำแหน่งเป็น (HA, δ) โดยใช้ดาวเหนือเป็นหลัก ต่อไปจะกล่าวถึงวิธีการถ่ายรูปดาวและอุกกาบาต

เมื่อต้องการจะถ่ายดาว ก็คลายล็อคแกน Hour Angle และ Declination ออก แล้วหมุนที่วางกล้องไปยังกลุ่มดาวที่ต้องการจะถ่ายรูป แล้วล็อคแกน Hour Angle และแกน Declination บันทึกสเกลทั้งสองเป็นตำแหน่งของรูปถ่ายนั้น แล้วตั้งกล้องส่องนำ ให้ชี้ไปยังดาวฤกษ์ในบริเวณที่จะถ่ายรูปนั้น 1 ดวง แล้วล็อคให้แน่น แล้วกดเปิดชัตเตอร์ B เปิดหน้ากล้องถ่ายรูปและบันทึกเวลาเริ่มถ่ายรูป พร้อมกับเดินเครื่องมอเตอร์หมุนใบพัดตัดหน้ากล้องและมอเตอร์เฟืองหมุนแกน Hour Angle ตามดาวฤกษ์ดวงนั้น โดยที่เราต้องคอยดูดาวนั้นในกล้องส่องนำให้อยู่ที่เดิมตลอด ถ้ากล้องส่องนำเคลื่อนที่ช้าหรือเร็วไปเราก็ช่วยปรับมอเตอร์ที่ขับแกน Hour Angle ให้เร็วหรือช้าให้ทันดาวนั้นได้ จนถึงเวลาที่ต้องการ ประมาณ 5-60 นาที เราก็กดปิดชัตเตอร์ B เป็นอันเสร็จสิ้นการถ่ายรูปดาว 1 รูป แล้วบันทึกเวลาที่ใช้ในการถ่ายรูปนั้น รูปที่ได้จะเห็นดาวเป็นจุดเหมือนอย่างที่เห็นด้วยตาเปล่า และถ้าในระหว่างที่เปิดหน้ากล้องถ่ายรูปนั้นเผอิญมีอุกกาบาตที่สว่างพอ และตกผ่านหน้ากล้อง ก็จะเห็นในรูปเป็นเส้นประตรง ๆ ด้วย เพราะมีใบพัดหมุนตัดหน้ากล้องในขณะถ่ายรูปด้วย เราก็จะสามารถนำฟิล์มรูปอุกกาบาตนั้นไปวัดวิเคราะห์หา ตำแหน่ง ความเร็ว และ การเคลื่อนที่ของอุกกาบาตนั้นได้

การวิจัยนี้ได้ทำการถ่ายรูปดาวในตอนกลางคืนที่ไม่มีแสงจันทร์มารบกวน ได้ใช้ฟิล์ม KODAK TRI-X pan 400 ขาวดำ 17 ม้วน และฟิล์มสี KONICA ISO 3200 จำนวน 2 ม้วน รวมทั้งหมด 19 ม้วนและใช้เลนส์ขนาดความยาวโฟกัส 21mm, 35mm, 49mm, 50mm, 70mm และ 100mm แต่ส่วนใหญ่จะใช้เลนส์ขนาดความยาวโฟกัส 50mm และใช้ ใบพัดตัดหน้ากล้องความเร็ว 11.8 ช่อง/วินาที ในฟิล์ม 7 ม้วนแรก ส่วนฟิล์มที่เหลือใช้ใบพัดตัดหน้ากล้องความเร็ว 6.7 ช่อง/วินาที ซึ่งรายละเอียดข้อมูลจากการถ่ายรูปทั้งหมดได้แสดงไว้ในภาคผนวก ข

จากการถ่ายรูปทั้งหมดนี้ ปรากฏว่าติดรูปอุกกาบาตเพียง 1 รูป เท่านั้น(รูปที่ 4.4) ซึ่งเป็นอุกกาบาต sporadic ในวันที่ 27 ตุลาคม พ.ศ.2532 ณ จังหวัดพิษณุโลก ละติจูด $16^{\circ}.82$ บริเวณเหนือกลุ่มดาวสารถี (Auriga) มีตำแหน่ง (HA, δ)เท่ากับ ($18^{h}\ 36^{m},\ 48^{\circ}$) เปิดหน้ากล้องนาน 20 นาที เริ่มจับเวลาตั้งแต่เวลา 22.37 - 22.57 น. ถ่ายรูปด้วยกล้อง Yashica f = 50 mm f/1.9 ฟิล์มขาวดำ KODAK TRI-X pan 400 ม้วนที่ 12 รูปที่ 2 ใช้ความเร็วใบพัดตัดหน้ากล้อง 6.7 ช่อง/วินาที สังเกตเห็นอุกกาบาตนี้ตกบริเวณเหนือกลุ่มดาวสารถี จากทิศเหนือไปทางทิศใต้ทางซีกฟ้าด้านตะวันออก เวลา 22.41 น. สีเหลืองสว่างมากประมาณแมกนิจูด 0 (สว่างเท่ากับดาวคาเพลลา) ไม่แตก และ ไม่มีเสียง

<u>รูปที่ 4.4</u> ภาพถ่ายอุกกาบาต sporadic เมื่อวันที่ 27 ตุลาคม พ.ศ.2532 เวลา 22.41น. ณ จังหวัดพิษณุโลก ละติจูด $16^{\circ}.82$ บริเวณเหนือกลุ่มดาวสารถี ถ่ายด้วยกล้อง Yashica f = 50 mm f/1.9 ฟิล์มขาวดำ KODAK TRI-X pan 400 เวลา 22.37-22.57 น. นาน 20 นาที ความเร็วใบพัดตัดหน้ากล้อง 6.7 ช่อง/วินาที

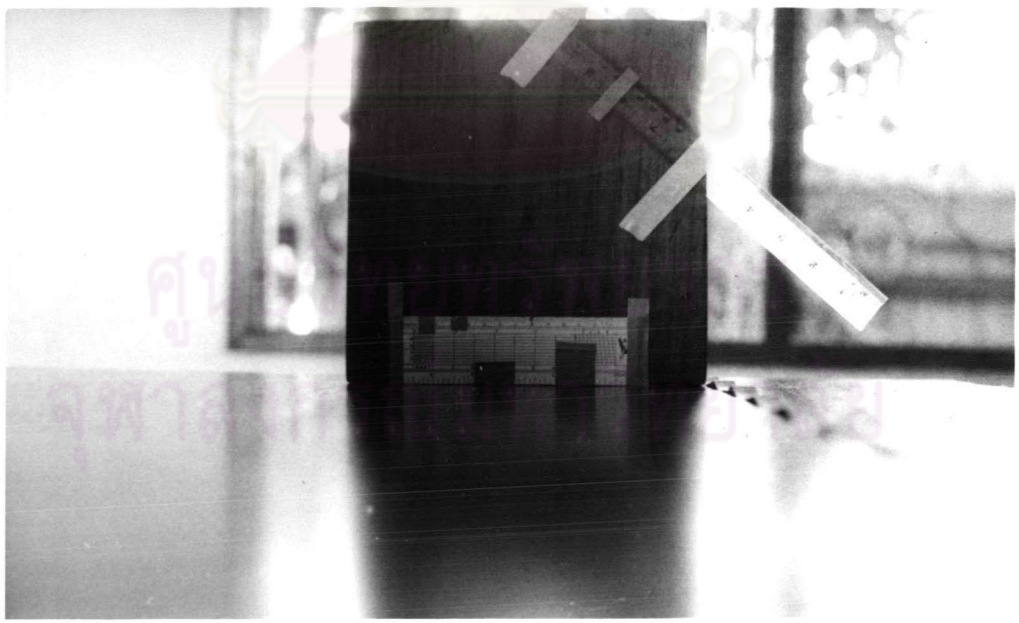
การหาตำแหน่ง ความเร็ว และ การเคลื่อนที่ของอุกกาบาต

ในการวิจัยนี้เป็นตัวอย่างแสดงการคำนวณหา ตำแหน่ง ความเร็ว และการเคลื่อนที่ของอุกกาบาต โดยการนำฟิล์มของภาพอุกกาบาตในรูปที่ 4.4 ไปวัดโดยละเอียด แล้วทำการคำนวณตามขั้นตอนดังนี้

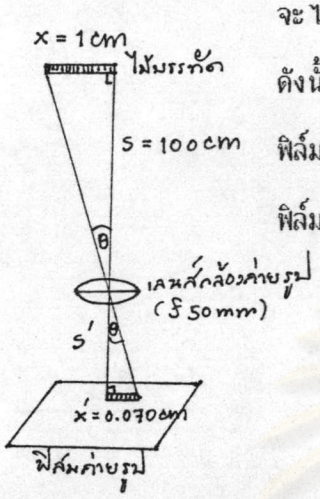
1. ถ่ายรูปคำนวณหาสเกลเชิงมุมของเลนส์ที่ใช้ถ่ายรูปอุกกาบาต

โดยการ ถ่ายรูปไม้บรรทัดด้วยเลนส์ที่ใช้ถ่ายรูปอุกกาบาต (กล้อง Yashica เลนส์ f = 50 mm) โดยใช้ฟิล์มขาวดำ KODAK TRI-X pan 400 ขนาด 35 mm โดยวางไม้บรรทัดห่างจากกล้องถ่ายรูป 100 cm จะได้ดังรูปที่ 4.5

รูปที่ 4.5 ถ่ายรูปไม้บรรทัดด้วยเลนส์ f=50 mm ห่างกัน 100 cm เพื่อคำนวณหาสเกลเชิงมุมของเลนส์ที่ใช้ถ่ายรูปอุกกาบาต



แล้วนำฟิล์มที่ได้จากรูปที่ 4.5 นี้ ไปวัดความยาวไม้บรรทัดจริง 1 cm (x) วัดบนฟิล์มได้ยาว 0.070 cm (x′) โดยที่เลนส์และไม้บรรทัดห่างกัน 100 cm (s)



จะได้ $\tan\theta = (x/s) = (1/100) = 0.01$

ดังนั้น $\theta = 0.^{\circ}57$ นั่นคือ

ฟิล์มยาว 0.070 cm จะครอบคลุมมุม $= 0.^{\circ}57$

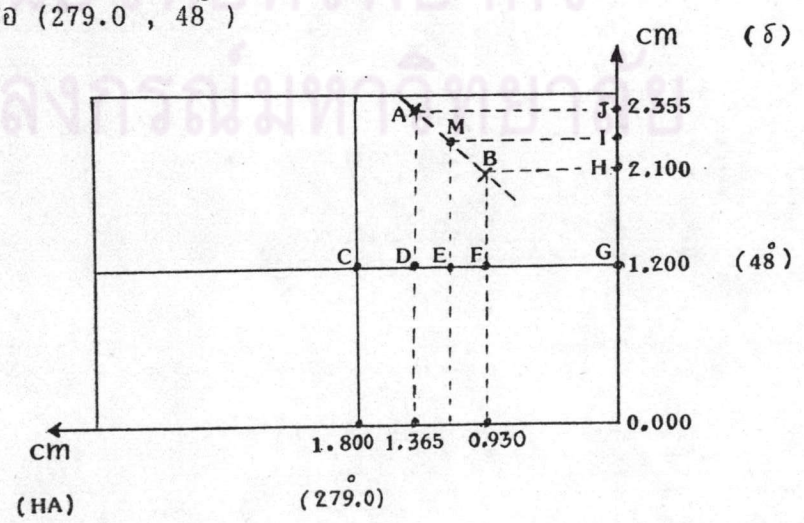
ฟิล์มยาว 1 cm จะครอบคลุมมุม $= 0.57/0.070 = 8.^{\circ}1$

ดังนั้น เลนส์ที่ใช้ถ่ายรูปอุกกาบาต f=50 mm จะครอบคลุม สเกลเชิงมุม $8.^{\circ}1$ /cm

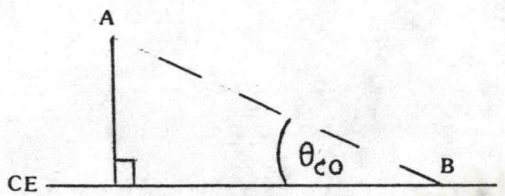
2. <u>หาตำแหน่งอุกกาบาตในระบบ (HA, δ) และ มุมที่ความเร็วอุกกาบาต (v_o) ทำกับเส้นศูนย์สูตรฟ้า (θ_{co})</u>

ฟิล์มของรูปที่ 4.4 นำมาวัดโดยละเอียด จะได้ดังรูปที่ 4.6

<u>รูปที่ 4.6</u> แสดงผลการวัดฟิล์มอุกกาบาตโดยละเอียด ซึ่งแกนตั้งจะเป็นแกนของ (Declination) แกนนอนเป็น HA (Hour Angle) เริ่มวัดที่ตำแหน่ง A ถึงตำแหน่ง B โดยที่ตำแหน่ง M เป็นจุดกึ่งกลางของเส้นทาง AB และจุด C เป็นตำแหน่งกึ่งกลางของฟิล์มโดยมี (HA , δ) เท่ากับ ($18^{h}\ 36^{m}$, 48°) หรือ ($279.^{\circ}0$, 48°)



จากรูปที่ 4.6 แกน HA จะขนานกับเส้นศูนย์สูตรฟ้า(Celestial Equator; CE) ดังนั้น จะหามุมที่อุกกาบาตเคลื่อนที่กระทำต่อเส้น CE เป็นมุม θ_{co} ได้จาก



$$\theta_{co} = \tan^{-1}\left(\frac{2.355-2.100}{1.365-0.930}\right)$$

$$= \tan^{-1}\left(\frac{0.255}{0.435}\right)$$

ดังนั้น $\theta_{co} = 30^{\circ}.4$

AB เป็น เส้นทางของอุกกาบาตที่นำมาวิเคราะห์ วัดได้ 0.505 cm (4 ขีด)

จุด M เป็น จุดกึ่งกลางของเส้นทางอุกกาบาต AB

ดังนั้น AM = MB = (1/2) AB = (0.505)/2 cm = 0.2525 cm

FE = ED = (1/2) AB cos θ_{co} = 0.2525 cos $30^{\circ}.4$ = 0.218 cm

HI = IJ = (1/2) AB sin θ_{co} = 0.2525 sin $30^{\circ}.4$ = 0.128 cm

ดังนั้น GE = GF + FE = 0.930 + 0.218 cm = 1.148 cm

OI = OH + HI = 2.100 + 0.128 cm = 2.228 cm

ใช้ (HA, δ) ที่จุด C เท่ากับ (279° , 48°) เป็นหลัก และเทียบจากสเกลของเลนส์ 1 cm = $8^{\circ}.1$ (ที่ได้จากข้อ 1) คำนวณหา (HA, δ) ที่ตำแหน่ง A, B และ M ดังนี้

CD = 1.800 - 1.365 cm = 0.435 cm = 0.435 x $8^{\circ}.1$ = $3^{\circ}.5$

CE = 1.800 - 1.148 cm = 0.652 cm = 0.652 x $8^{\circ}.1$ = $5^{\circ}.3$

CF = 1.800 - 0.930 cm = 0.870 cm = 0.870 x $8^{\circ}.1$ = $7^{\circ}.0$

ดังนั้น $(HA)_A$ = GC - CD = $279^{\circ}.0$ - $3^{\circ}.5$ = $275^{\circ}.5$

$(HA)_M$ = GC - CE = $279^{\circ}.0$ - $5^{\circ}.3$ = $273^{\circ}.7$

$(HA)_B$ = GC - CF = $279^{\circ}.0$ - $7^{\circ}.0$ = $272^{\circ}.0$

GJ = 2.355 - 1.200 cm = 1.155 cm = 1.155 x $8^{\circ}.1$ = $9^{\circ}.4$

GI = 2.228 - 1.200 cm = 1.028 cm = 1.028 x $8^{\circ}.1$ = $8^{\circ}.3$

GH = 2.100 - 1.200 cm = 0.900 cm = 0.900 x $8^{\circ}.1$ = $7^{\circ}.3$

ดังนั้น $\delta_A = OG + GJ = 48^\circ.0 + 9^\circ.4 = 57^\circ.4$

$\delta_M = OG + GI = 48^\circ.0 + 8^\circ.3 = 56^\circ.3$

$\delta_B = OG + GH = 48^\circ.0 + 7^\circ.3 = 55^\circ.3$

ซึ่งจะได้ตำแหน่งต่างๆ และมุม $_{CO}$ ดังนี้

ตำแหน่ง	(HA , δ)
A	($275^\circ.5$, $57^\circ.4$)
M	($273^\circ.7$, $56^\circ.3$)
B	($272^\circ.0$, $55^\circ.3$)
$\theta_{oc} = 30^\circ.4$	

θ_{oc} เป็นมุมที่ความเร็วอุกกาบาต v_o ทำกับระนาบเส้นศูนย์สูตรฟ้า (CE)

3. <u>หามุมที่ตำแหน่งกึ่งกลางเส้นทางอุกกาบาตทำกับเส้นขอบฟ้า (h_M)</u>

โดยการแปลง $(HA, \delta)_M$ ให้เป็น Altitude (h_M) ของตำแหน่งกึ่งกลางของเส้นทางอุกกาบาต โดยใช้สูตร

$$\sin h_M = \sin \delta_M \sin \phi + \cos \delta_M \cos \phi \cos (HA)_M$$

โดยที่ ϕ คือ ละติจูดของจังหวัดพิษณุโลก = $16^\circ.82$

แทนค่า δ_M และ $(HA)_M$ จากตารางที่ได้ในข้อ 2 และค่า ϕ จะได้

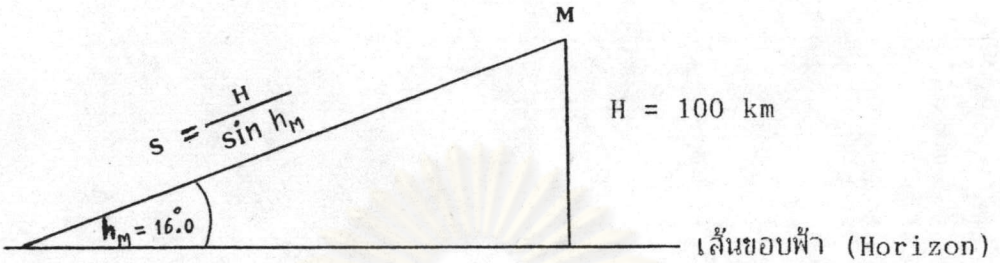
$$\sin h_M = \sin 56^\circ.3 \sin 16^\circ.82 + \cos 56^\circ.3 \cos 16^\circ.82 \cos 273^\circ.7$$

$$= 0.275$$

$$h_M = 16^\circ.0$$

4. หาระยะไกลของอุกกาบาตถึงกล้องถ่ายรูป (ผู้สังเกต) บนโลก (s)

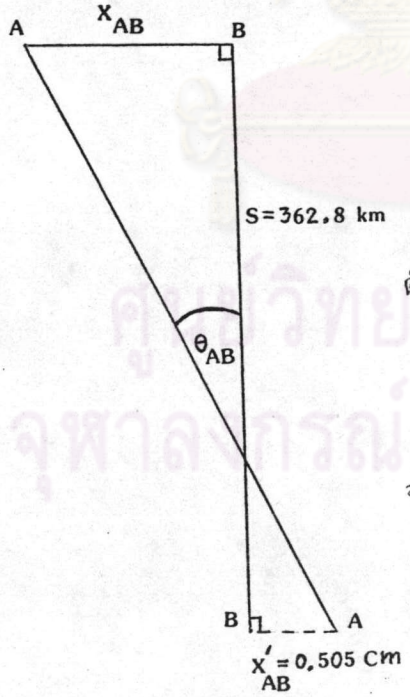
โดยคิดที่จุดกึ่งกลางของเส้นทางอุกกาบาต (จุด M) สมมุติให้อยู่สูงตั้งฉากกับพื้นโลก 100 km และทำมุมกับเส้นขอบฟ้าเป็นมุม h_M = 16.0 (ได้จากข้อ 3)



จากรูป จะได้ $S = H/(\sin h_M) = 100/(\sin 16.0^\circ)$ km = 362.8 km

S = 362.8 km

5. หาระยะทางของเส้นทางอุกกาบาต (x_{AB})



จากการวัดเส้นทางอุกกาบาตบนฟิล์ม (x_{AB}) ยาว 0.505 cm (เส้นประ 4 ขีด)

และจากข้อ 1 ได้ว่า ฟิล์มยาว 1 cm ครอบคลุมมุม = 8.1°

ดังนั้น ฟิล์มยาว 0.505 cm จะครอบคลุมมุม

$= 8.1 \times 0.505 = 4.1^\circ$

ดังนั้น $\theta_{AB} = 4.1^\circ$

จากรูป $x_{AB} = s \tan \theta_{AB}$

$= 362.8 \tan 4.1$ km

$= 26.0$ km

ดังนั้น

x_{AB} = 26.0 km

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

6. หาช่วงเวลาของเส้นทางอุกกาบาต 4 ขีด (t_{AB})

คำนวณจาก ความเร็วใบพัดตัดหน้ากล้องถ่ายรูป 6.7 ช่อง/วินาที

ดังนั้น 6.7 ขีด ใช้เวลา = 1 วินาที

4 ขีด ใช้เวลา = 4/(6.7) วินาที = 0.6 วินาที

t_{AB} = 0.6 วินาที

7. หาความเร็วปรากฏของอุกกาบาตเมื่ออยู่ในบรรยากาศโลกเทียบกับผู้สังเกตบนโลก (v_o)

$v_o = x_{AB} / t_{AB}$

$= 26.0/(0.6)$ km/s $= 43.3$ km/s

v_o = 43.3 km/s และสมมติว่าอยู่ในระนาบท้องฟ้า

8. หาความเร็วปรากฏของอุกกาบาตเมื่ออยู่นอกบรรยากาศโลกเทียบกับผู้สังเกตบนโลก (v_∞)

จากสมการที่ (2.5); $v_\infty = v_o + \Delta$

โดยที่ Δ เป็น ความเร็วเนื่องจากแรงเสียดทานของอากาศ มีค่าเท่ากับ 0.5 km/s สำหรับอุกกาบาตเร็ว ถึง 1.0 km/s สำหรับอุกกาบาตช้า ในที่นี้จะใช้ค่า Δ = 1.0 km/s

ดังนั้น

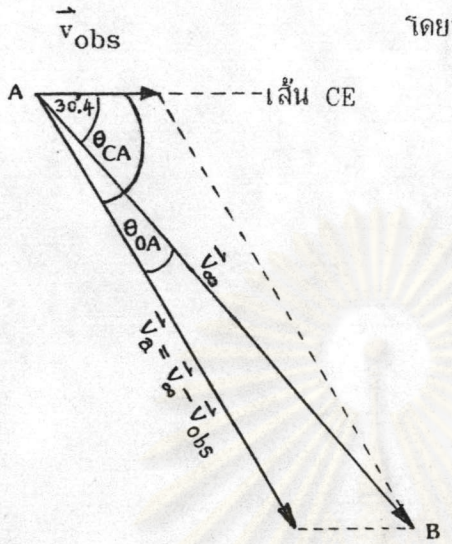
$v_\infty = 43.3 + 1.0$ km/s

$= 44.3$ km/s

และ ทิศของ v มีทิศจากตำแหน่ง A ไป B โดยทำมุมกับระนาบเส้นศูนย์สูตรฟ้า (CE) = 30.4° (หาได้จากข้อ 2)

9. <u>หาความเร็วของอุกกาบาตนอกบรรยากาศโลกเทียบกับจุดศูนย์กลางโลก (v_a)</u>

จากสมการที่ (2.8); $\vec{v}_a = \vec{v}_\infty - \vec{v}_{obs}$



โดยที่ v_{obs} คือ ความเร็วของผู้สังเกตบนโลกที่ละติจูด $\phi = 16.^\circ82$ ที่หมุนรอบตัวเอง ในทิศทวนเข็มนาฬิการอบเส้นศูนย์สูตรโลก

$$= \frac{2\pi R_\oplus \cos\phi}{24^h} = 0.44 \text{ km/s}$$

v_∞ คือ ความเร็วของอุกกาบาตนอกบรรยากาศโลก เทียบกับผู้สังเกตบนโลกที่อยู่ละติจูด $\phi = 16.^\circ82$ $= 44.3$ km/s ทำมุมกับ $\vec{v}_{obs}$ เท่ากับ $30.^\circ4$ (หาได้จากข้อ 2)

$$v_a = \sqrt{(v_\infty \sin 30.^\circ4)^2 + (v_\infty \cos 30.^\circ4 - v_{obs})^2}$$

$$= \sqrt{(44.3 \sin 30.^\circ4)^2 + (44.3 \cos 30.^\circ4 - 0.44)^2}$$

$$= 43.9 \text{ km/s}$$

$$\theta_{ca} = \tan^{-1}\left(\frac{v_\infty \sin 30.^\circ4}{v_\infty \cos 30.^\circ4 - v_{obs}}\right)$$

$$= \tan^{-1}\left(\frac{44.3 \sin 30.^\circ4}{44.3 \cos 30.^\circ4 - 0.44}\right)$$

$$= 30.^\circ7$$

$\vec{v}_a = 43.9$ km/s โดยทำมุมกับระนาบเส้นศูนย์สูตรฟ้า $30.^\circ7$

ทิศ $\vec{v}_a$ ทำมุมกับทิศ $\vec{v}_\infty$ หรือ $\vec{v}_o$ เท่ากับ $\theta_{OA} = 30.^\circ7 - 30.^\circ4 = 0.^\circ3$

10. <u>หาความเร็วของอุกกาบาตนอกบรรยากาศโลกเทียบกับจุดศูนย์กลางของโลกเมื่ออยู่นอก-สนามแรงโน้มถ่วงของโลก (v_G)</u>

จากสมการที่ (2.9); $v_G^2 = v_\infty^2 - v^2$

โดยที่ v คือ อัตราเร็วของการผละหนีจากแรงดึงดูดของโลก

$$= \sqrt{\frac{2GM_\oplus}{R_\oplus}} = \sqrt{\frac{2(6.672 \times 10^{-11}\ N\cdot m^2\cdot kg^{-2})(5.974 \times 10^{24}\ kg)}{(6378\ km)}}$$

$$= 11.2\ km/s$$

v_a คือ ความเร็วของอุกกาบาตนอกบรรยากาศโลกเทียบกับจุดศูนย์กลางโลก - เมื่ออยู่ในสนามแรงโน้มถ่วงของโลก = 43.9 km/s

ในทิศทำมุมกับ $\vec{v}_\infty$ (หรือ $\vec{v}_o$) เท่ากับ $\theta_{oa} = 0.^\circ 3$

ดังนั้น $v_G = \sqrt{v_a^2 - v^2}$

$$= \sqrt{(43.9)^2 - (11.2)^2}\ km/s$$

$$\boxed{v_G = 42.4\ km/s}$$

การหาทิศ $\vec{v}_G$ ในที่นี้จะสมมุติให้อุกกาบาตเคลื่อนที่รอบดวงอาทิตย์ และให้ทิศ $\vec{v}_G$ ทำมุมกับระนาบอิคลิปติก เท่ากับ มุมที่ $\vec{v}_a$ ทำกับระนาบอิคลิปติก

การที่จะรู้ว่ามุมของความเร็วอุกกาบาต $\vec{v}_a$ ทำกับระนาบอิคลิปติกเท่าไรนั้น จะต้องแปลงตำแหน่งของอุกกาบาต A และ B จากระบบเส้นศูนย์สูตรท้องฟ้า (HA, δ) ให้เป็นระบบอิคลิปติก (λ,β) โดยจะต้องแปลงระบบเส้นศูนย์สูตรท้องฟ้า (HA,δ) ให้เป็น (α,δ) แล้วจึงแปลง (α,δ) ให้เป็น (λ,β)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากสูตร การแปลง (HA, δ) เป็น (α,δ)

$$\alpha = S.T.(l) - HA = AST(l) - HA$$

$$\delta = \delta$$

โดยที่ α คือ Right Ascension

δ คือ Declination

HA คือ Hour Angle

S.T.(l) คือ เวลาดาราคติที่ลองติจูด l หมายถึง Hour Angle ของเวอร์นอลอิควินอกซ์ที่ลองติจูด l ในที่นี้จะใช้เป็น เวลาดาราคติปรากฏที่ลองติจูด l ; AST(l)

ในการหา เวลาดาราคติปรากฏที่พิษณุโลก AST (l = 100 15 45 E) จากเวลามาตรฐานที่ประเทศไทย (ZT) เท่ากับ $22^h\ 41^m$ ซึ่งมี $\Delta Z = -105^\circ = -7^h$ (นั่นคือ เวลา $22^h\ 41^m$ ก็คือ เวลาสุริยคติเฉลี่ยที่จังหวัดอุบลราชธานี MT (l=105° E) นั่นเอง) ในวันที่ 27 ตุลาคม พ.ศ.2532 (ค.ศ.1989) หาได้ตามขั้นตอนตามลำดับ ดังต่อไปนี้

		h	m	s
1.	ZT ของวันที่ 27 ตุลาคม พ.ศ.2532	= 22	41	00.0000
2.	ΔZ	= -7	00	00.0000
3.	UT = ZT + ΔZ = (1)+(2)ของวันที่ 27 ต.ค.2532	= 15	41	00.0000
4.	GMST* ที่ 0^h UT วันที่ 27 ตุลาคม พ.ศ.2532	= 2	21	19.4138
5.	ช่วงเวลาดาราคติเฉลี่ยที่เท่ากับช่วงเวลา $15^h\ 41^m$ ของเวลาสุริยคติเฉลี่ย (คูณช่วงเวลาสุริยคติเฉลี่ยด้วย 1.002 737 909 3)	= 15	46	35.0752
6.	GMST ที่ขณะเวลา UT = (4)+(5)	= 18	07	54.4890
7.	Eq.E* เมื่อ $15^h\ 41^m$ UT ของวันที่ 27 ต.ค.2532	=		+0.5481
8.	GAST = GMST + Eq.E = (6)+(7)	= 18	07	55.0371
9.	ลองติจูดที่พิษณุโลก (l) = $100^\circ\ 15'\ 45''$ E	= +6	41	03.0012
10.	AST (l) = GAST + l = (8)+(9)	= 0	47	58.0383
		= 12.0°		

โดยที่

* เป็นค่าที่ได้มาจากหนังสือ "Astronomical Almanac ปี 1989" หน้า B14

MT(l) คือ เวลาสุริยคติเฉลี่ย (Mean Solar Time) ที่ลองติจูด l

หมายถึง มุมชั่วโมงของดวงอาทิตย์เฉลี่ยอ้างอิงกับเมอริเดียน (l) ใดๆ

$MT(l) = h_M + 12^h$ เมื่อ h_M คือมุมชั่วโมงของดวงอาทิตย์เฉลี่ย

โดยที่ 0^h MT(l) เกิดขึ้นเวลากลางคืน (เวลาทรานสิทล่าง)

UT คือ เวลาสากล (Universal Time) = MT(l) - l = ZT + ΔZ

หมายถึง มุมชั่วโมงของดวงอาทิตย์เฉลี่ยอ้างอิงกับเมอริเดียนที่กรีนิช (l=0)

โดยที่ 0^h UT เกิดขึ้นเวลากลางคืน (เวลาทรานสิทล่าง)

ZT คือ เวลามาตรฐาน (Standard or Zone Time) ซึ่งตรงกับ เวลาสุริยคติเฉลี่ยของเมอริเดียนมาตรฐาน(ที่กรีนิช) ซึ่งเวลานี้ใช้ครอบคลุมขอบเขตลองจิจูดใกล้เคียง หรือ ตลอดพื้นที่ของแถบเวลาหนึ่ง กำหนดให้เมอริเดียนกรีนิชเป็นศูนย์กลางของระบบและให้เป็นแถบ 0 แถบถัดไปทางทิศตะวันออกให้เลขเป็น ΔZ = -1, -2, ..., -12 และแถบทางตะวันตกเป็น ΔZ = +1, +2, ..., +12 ตามจำนวนชั่วโมงที่ต้องบวกกับ ZT เพื่อให้ได้ UT

ΔZ คือ ค่าตรวจแก้เวลามาตรฐาน (Zonal Correction) สำหรับประเทศไทย ΔZ=-7

l คือ ลองติจูดที่มีเครื่องหมายบวกชี้ไปทางทิศตะวันออกของกรีนิช

AST(l) คือ เวลาดาราคติปรากฏ (Apparent Sidereal Time) ที่ลองติจูด l

GAST คือ เวลาดาราคติปรากฏที่กรีนิช (Greenwich Aarent Sidereal Time)

หมายถึง มุมชั่วโมงของจุดเวอร์นอลอิควินอกซ์จริงที่กรีนิช (l = 0)

MST(l) คือ เวลาดาราคติเฉลี่ย (Mean Sidereal Time) ที่ลองติจูด l

GMST คือ เวลาดาราคติเฉลี่ยที่กรีนิช (Greenwich Mean Sidereal Time)

หมายถึง มุมชั่วโมงของจุดเวอร์นอลอิควินอกซ์เฉลี่ยที่กรีนิช (l = 0)

Eq.E คือ สมการอิควินอกซ์ (Equation of the Equinox)

ซึ่ง Eq.E = AST(l) - MST(l) = GAST - GMST

แล้วใช้สูตรข้างต้นแปลง (HA, δ) เป็น (α,δ) ของตำแหน่งอุกกาบาต ได้ดังนี้

α_A = AST(1) - $(HA)_A$ = $(12^h.0 + 360^\circ) - 275^\circ.5 = 96^\circ.0$

α_M = AST(1) - $(HA)_M$ = $(12^h.0 + 360^\circ) - 273^\circ.7 = 97^\circ.8$

α_B = AST(1) - $(HA)_B$ = $(12^h.0 + 360^\circ) - 272^\circ.0 = 99^\circ.5$

ดังนั้น $(\alpha,\delta)_A = (96^\circ.0 , 57^\circ.4)$

$(\alpha,\delta)_M = (97^\circ.8 , 56^\circ.3)$

$(\alpha,\delta)_B = (99^\circ.5 , 55^\circ.3)$

ต่อไปทำการแปลง (α,δ) เป็น (λ,β) โดยพิจารณาที่ช่วง $90^\circ < \alpha < 270^\circ$ จาก**รูปที่ 4.7** เป็นการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระบบโคออร์ดิเนต (α,δ) และ (λ,β) **ซึ่งรูปที่ 4.7(ก)** แสดงทรงกลมท้องฟ้า โดยให้ x เป็นตำแหน่งใดๆ บนผิวทรงกลมท้องฟ้าโดยมีโคออร์ดิเนตเป็น (α_x, δ_x) และในระบบอิคลิปติก เป็น (λ_x,β_x)

โดยที่ $90^\circ < \alpha_x < 270^\circ$

NCP คือ ขั้วเหนือของท้องฟ้า (North Celestial Pole)

NEP คือ ขั้วเหนือของอิคลิปติก (North Ecliptic Pole)

CE คือ เส้นศูนย์สูตรท้องฟ้า (Celestial Equator)

Υ คือ จุดเวอร์นอลอิควินอกซ์ (Vernal Equinox)

ϵ คือ มุมที่ระนาบ CE ทำกับระนาบอิคลิปติก

และจากหนังสือ"Astronomical Almanac 1989"ในวันที่ 27 ตุลาคม พ.ศ.2532 (ค.ศ.1989) ได้ค่า $\epsilon = 23^\circ\ 26'\ 33''.765 = 23^\circ.4$

ดังนั้นจะได้ความสัมพันธ์ของสามเหลี่ยมทรงกลม **ดังรูปที่ 4.7(ข)** จะได้ความสัมพันธ์ระหว่าง (α_x, δ_x) กับ (λ_x,β_x) ในกรณีที่ $90^\circ < \alpha_x < 270^\circ$ ดังนี้

หา β_x ได้จาก

$$\cos(90^\circ-\beta_x) = \cos(90^\circ-\delta_x)\cos\epsilon + \sin(90^\circ-\delta_x)\sin\epsilon\cos(270^\circ-\alpha_x)$$

และหา λ_x ได้จาก

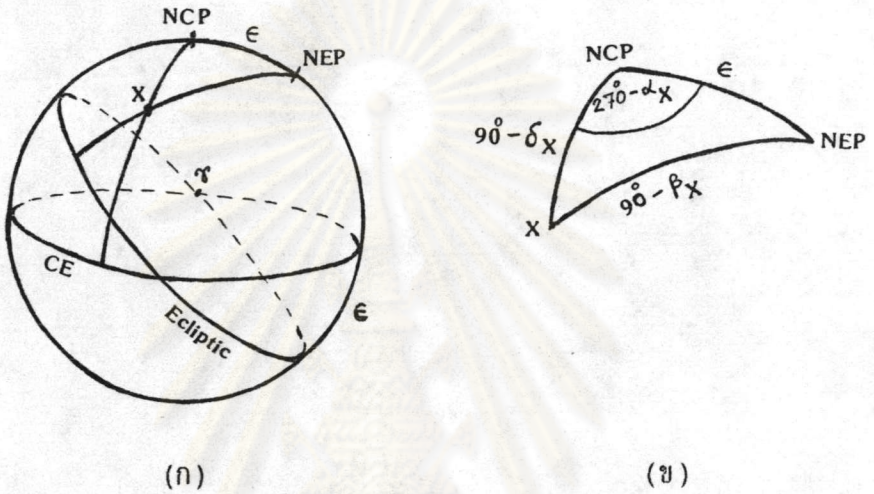
$$\cos(90-\delta_x) = \cos\epsilon\cos(90-\beta_x) + \sin\epsilon\sin(90^\circ-\beta_x)\cos(\lambda_x-90^\circ)$$

รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างระบบโคออร์ดิเนต (α,δ) และ (λ,β)

ในกรณีที่ $90^\circ < \alpha_X < 270^\circ$

(ก) ทรงกลมท้องฟ้า โดยที่ x เป็นตำแหน่งใดๆ บนผิวทรงกลมท้องฟ้า มีโคออร์ดิเนตในระบบเส้นศูนย์สูตรท้องฟ้าเป็น (α_X,δ_X) และในระบบอิคลิปติกเป็น (λ_X,β_X)

(ข) สามเหลี่ยมทรงกลมที่ได้จากรูป (ก)



(ก) (ข)

ใช้สูตรที่ได้จากรูปที่ 4.7(ข) แปลงหาตำแหน่งอุกกาบาต จาก(α,δ)เป็น(λ,β)ได้

$$\cos(90^\circ-\beta_A) = \cos(90^\circ-\delta_A)\cos\epsilon + \sin(90^\circ-\delta_A)\sin\epsilon\cos(270^\circ-\alpha_A)$$

$$= \cos(90^\circ-57^\circ.4)\cos23^\circ.4 + \sin(90^\circ-57^\circ.4)\sin23^\circ.4\cos(270^\circ-96^\circ.0)$$

$$= \cos 32^\circ.6 \cos 23^\circ.4 + \sin 32^\circ.6 \sin 23^\circ.4 \cos 174^\circ$$

$$= 0.5604$$

$$90^\circ-\beta_A = 55^\circ.9$$

ดังนั้น $\boxed{\beta_A = 90^\circ - 55^\circ.9 = 34^\circ.1}$

$$\cos(90^\circ-\delta_A) = \cos\epsilon\cos(90^\circ-\beta_A) + \sin\epsilon\sin(90^\circ-\beta_A)\cos(\lambda_A-90^\circ)$$

$$\cos(90^\circ-57^\circ.4) = \cos23^\circ.4\cos(90^\circ-34^\circ.1) + \sin23^\circ.4\sin(90^\circ-34^\circ.1)\cos(\lambda_A-90^\circ)$$

$$\cos 32^\circ.6 = \cos 23^\circ.4 \cos 55^\circ.9 + \sin 23^\circ.4 \sin 55^\circ.9 \cos(\lambda_A-90^\circ)$$

$$\cos(\lambda_A - 90^\circ) = \frac{\cos 32^\circ.6 - \cos 23^\circ.4 \cos 55^\circ.9}{\sin 23^\circ.4 \ \sin 55^\circ.9} = 0.9979$$

$$\lambda_A - 90^\circ = 3^\circ.7$$

ดังนั้น $\boxed{\lambda_A = 3^\circ.7 + 90^\circ = 93^\circ.7}$

$$\cos(90^\circ - \beta_M) = \cos(90^\circ - \delta_M)\cos\epsilon + \sin(90^\circ - \delta_M)\sin\epsilon \cos(270^\circ - \alpha_M)$$

$$= \cos(90^\circ - 56^\circ.3)\cos 23^\circ.4 + \sin(90^\circ - 56^\circ.3)\sin 23^\circ.4 \cos(270^\circ - 97^\circ.8)$$

$$= \cos 33^\circ.7 \ \cos 23^\circ.4 + \sin 33^\circ.7 \ \sin 23^\circ.4 \ \cos 172^\circ.2$$

$$= 0.5452$$

$$90^\circ - \beta_M = 57^\circ.0$$

ดังนั้น $\boxed{\beta_M = 90^\circ - 57^\circ.0 = 33^\circ.0}$

$$\cos(90^\circ - \delta_M) = \cos\epsilon \cos(90^\circ - \beta_M) + \sin\epsilon \sin(90^\circ - \beta_M)\cos(\lambda_M - 90^\circ)$$

$$\cos(90^\circ - 56^\circ.3) = \cos 23^\circ.4 \cos(90^\circ - 33^\circ.0) + \sin 23^\circ.4 \sin(90^\circ - 33^\circ.0)\cos(\lambda_M - 90^\circ)$$

$$\cos 33^\circ.7 = \cos 23^\circ.4 \ \cos 57^\circ.0 + \sin 23^\circ.4 \ \sin 57^\circ.0 \ \cos(\lambda_M - 90^\circ)$$

$$\cos(\lambda_M - 90^\circ) = \frac{\cos 33^\circ.7 - \cos 23^\circ.4 \cos 57^\circ.0}{\sin 23^\circ.4 \ \sin 57^\circ.0} = 0.9955$$

$$\lambda_M - 90^\circ = 5^\circ.4$$

ดังนั้น $\boxed{\lambda_M = 5^\circ.4 + 90^\circ = 95^\circ.4}$

$$\cos(90^\circ - \beta_B) = \cos(90^\circ - \delta_B)\cos\epsilon + \sin(90^\circ - \delta_B)\sin\epsilon \cos(270^\circ - \alpha_B)$$

$$= \cos(90^\circ - 55^\circ.3)\cos 23^\circ.4 + \sin(90^\circ - 55^\circ.3)\sin 23^\circ.4 \cos(270^\circ - 99^\circ.5)$$

$$= \cos 34^\circ.7 \ \cos 23^\circ.4 + \sin 34^\circ.7 \ \sin 23^\circ.4 \ \cos 170^\circ.5$$

$$= 0.5315$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

$90^\circ - \beta_B = 57.9^\circ$

ดังนั้น $\boxed{\beta_B = 90^\circ - 57.9^\circ = 32.1^\circ}$

$\cos(90-\delta_B) = \cos\epsilon \cos(90^\circ-\beta_B) + \sin\epsilon \sin(90^\circ-\beta_B)\cos(\lambda_B-90^\circ)$

$\cos(90^\circ-55.3^\circ) = \cos 23.4^\circ \cos(90^\circ-32.1^\circ) + \sin 23.4^\circ \sin(90^\circ-32.1^\circ)\cos(\lambda_B-90^\circ)$

$\cos 34.7^\circ = \cos 23.4^\circ \cos 57.9^\circ + \sin 23.4^\circ \sin 57.9^\circ \cos(\lambda_B-90^\circ)$

$$\cos(\lambda_B-90^\circ) = \frac{\cos 34.7^\circ - \cos 23.4^\circ \cos 57.9^\circ}{\sin 23.4^\circ \sin 57.9^\circ} = 0.9937$$

$\lambda_B - 90^\circ = 6.4^\circ$

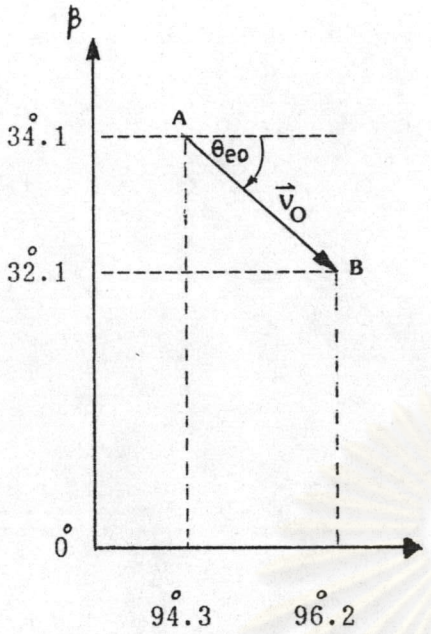
ดังนั้น $\boxed{\lambda_B = 6.4^\circ + 90^\circ = 96.4^\circ}$

จะได้ตำแหน่งของอุกกาบาต ดังตารางต่อไปนี้

ตำแหน่ง	(HA , δ)	(α , δ)	(λ , β)
A	$(275.5^\circ , 57.4^\circ)$	$(96.0^\circ , 57.4^\circ)$	$(94.3^\circ , 34.1^\circ)$
M	$(273.7^\circ , 56.3^\circ)$	$(97.8^\circ , 56.3^\circ)$	$(94.4^\circ , 33.0^\circ)$
B	$(272.0^\circ , 55.3^\circ)$	$(99.5^\circ , 55.3^\circ)$	$(96.2^\circ , 32.1^\circ)$

จากตาราง นำมาเขียนกราฟระหว่าง (λ,β) ของตำแหน่ง A และ B ได้ เพื่อที่จะหาทิศของความเร็ว $\vec{v}_o$ ที่ทำมุมกับระนาบอิคลิปติก (θ_{eo})

จากรูป จะหามุมที่ความเร็วอุกกาบาต $\vec{v}_o$ ที่ทำกับระนาบอิคลิปติก (θ_{eo}) ได้จาก



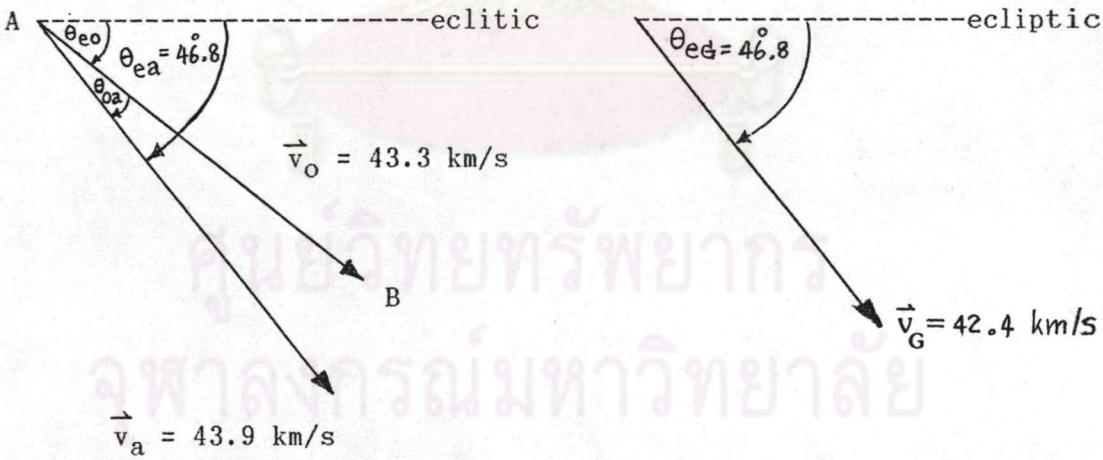
$$\tan \theta_{eo} = \frac{\beta_A - \beta_B}{\lambda_B - \lambda_A} = \frac{34.1^\circ - 32.1^\circ}{96.2^\circ - 94.3^\circ} = \frac{2}{1.9}$$

$$\theta_{eo} = 46.5^\circ$$

$\vec{v}_o$ ทำมุมกับระนาบอิคลิปติก (θ_{eo}) $\approx 46.5^\circ$

นำมุม θ_{eo} มารวมกับ มุมที่ความเร็ว $\vec{v}_o$ ทำกับความเร็ว $\vec{v}_a$ ($\theta_{oa} = 0.3^\circ$) ที่ได้จากข้อ (9) จะได้ว่า

$\vec{v}_a$ ทำมุมกับระนาบอิคลิปติกเท่ากับ $\theta_{ea} = \theta_{eo} + \theta_{oa} = 46.5^\circ + 0.3^\circ = 46.8^\circ$



ดังนั้น

$\vec{v}_G = 42.4$ km/s โดยทำมุมกับระนาบอิคลิปติก (θ_{eG}) $\approx \theta_{ea} \approx 46.8^\circ$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

11. <u>หาความเร็วที่แท้จริงของอุกกาบาตที่เคลื่อนที่เทียบกับดวงอาทิตย์ ($\vec{v}_H$)</u>

จากสมการ (2.10); $\vec{v}_H = \vec{v}_G + \vec{v}_E$

โดยที่ $\vec{v}_G$ = 42.4 km/s อยู่บนระนาบท้องฟ้าเหนือระนาบอิคลิปติกเป็นมุม $\approx \beta_M$ ($\beta_M = 33^\circ.0$) และทำมุมบนระนาบอิคลิปติก = $46^\circ.8$

$\vec{v}_E$ เป็นความเร็วในวงโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์ = 29.8 km/s ซึ่งอยู่บนระนาบอิคลิปติก ($\beta = 0^\circ$) และมีทิศทวนเข็มนาฬิการอบแกน NEP

ดังนั้น ในการรวมความเร็ว $\vec{v}_G$ กับ $\vec{v}_E$ จึงต้องโปรเจค(project)ความเร็ว $\vec{v}_E$ ให้อยู่บนระนาบท้องฟ้าซึ่งอยู่เหนือระนาบอิคลิปติก เป็นมุม (β_M) ประมาณ $33^\circ.0$ จะได้ความเร็ว $\vec{v}_E$ บนระนาบท้องฟ้านี้เท่ากับ $\overrightarrow{v_E \cos \beta_M}$

สามารถเขียนรูปทรงกลมท้องฟ้าแสดง $\vec{v}_G$, $\vec{v}_E$, ดวงอาทิตย์ (⊙) , $\overrightarrow{v_E \cos \beta_M}$ และ การรวมเวคเตอร์หา $\vec{v}_H$ ได้ดังรูปที่ 4.8 (ก) และ (ข)

จากรูปที่ 4.8 จะได้ว่า $\vec{v}_H = \vec{v}_G + \overrightarrow{v_E \cos \beta_M}$

$$v_H = \sqrt{(v_G \sin 46^\circ.8)^2 + (v_G \cos 46^\circ.8 + v_E \cos \beta_M)^2}$$

$$= \sqrt{(42.4 \sin 46^\circ.8)^2 + (42.4 \cos 46^\circ.8 + 29.8 \cos 33^\circ.0)^2} \quad \text{km/s}$$

$$= \sqrt{(30.9)^2 + (54.0)^2} \quad \text{km/s} \quad = 62.2 \quad \text{km/s}$$

มุม $i = \tan^{-1}\left(\dfrac{v_G \sin 46^\circ.8}{v_G \cos 46^\circ.8 + v_E \cos \beta_M}\right) = \tan^{-1}\left(\dfrac{30.9}{54.0}\right) = 29^\circ.8$

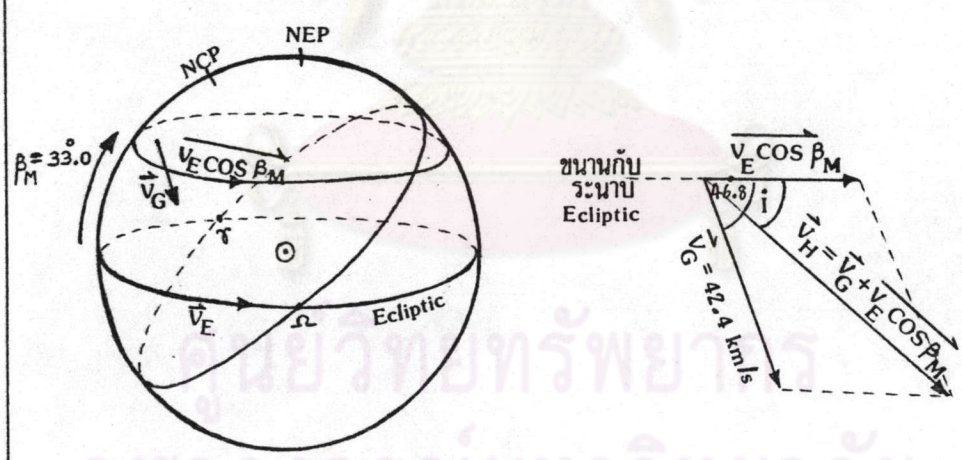
$\vec{v}_H$ = 62.2 km/s ทำมุมกับระนาบอิคลิปติก (i) = $29^\circ.8$

ดังนั้น อุกกาบาตนี้มีวงโคจรรอบดวงอาทิตย์เป็นแบบไฮเปอร์โบลา ($\because v_H > 42$ km/s)

รูปที่ 4.8 แสดงทิศทางของความเร็วอุกกาบาต ($\vec{v}_G$) และทิศการเคลื่อนที่ของโลกรอบดวงอาทิตย์ ($\vec{v}_E$)

(ก) ทรงกลมท้องฟ้า แสดงทิศความเร็วของอุกกาบาต $\vec{v}_G$ ซึ่งทำมุมกับระนาบอิคลิปติก 46.8° โดยมีดวงอาทิตย์อยู่ที่จุดศูนย์กลางของทรงกลมท้องฟ้า โลกโคจรรอบดวงอาทิตย์ในทิศทวนเข็มนาฬิกา ตามเส้นสัมผัสกับอิคลิปติก ($\beta = 0^\circ$) มีค่า $\vec{v}_E$ = 29.8 km/s และเมื่อโปรเจคความเร็ว $\vec{v}_E$ ให้อยู่บนระนาบท้องฟ้าเหนือระนาบอิคลิปติกเป็นมุมประมาณเท่ากับค่า ecliptic latitude ของกึ่งกลางเส้นทางอุกกาบาต (β_M) = 33.0° จะได้ความเร็วของโลกรอบดวงอาทิตย์บนระนาบท้องฟ้าดังกล่าวมีค่าเท่ากับ $v_E \cos \beta_M$ มีทิศทวนเข็มนาฬิกาตามแนวเส้นสัมผัสกับเส้นวงกลมเล็กที่ขนานกับเส้นอิคลิปติก

(ข) การรวมความเร็ว $\vec{v}_G$ และ $\vec{v}_E$ บนระนาบท้องฟ้า ($\beta_M = 33.0^\circ$) เพื่อหาความเร็วอุกกาบาตเทียบกับดวงอาทิตย์ ($\vec{v}_H$) จาก $\vec{v}_H = \vec{v}_G + \overrightarrow{v_E \cos \beta_M}$



(ก) (ข)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากขั้นตอนที่ (1)-(11)จะได้ ตำแหน่ง,ความเร็ว และการเคลื่อนที่ของอุกกาบาต sporadic เมื่อวันที่ 27 ตุลาคม พ.ศ.2532 เวลาในประเทศไทย $22^h\ 41^m$ จากฟิล์มรูป ดังนี้

1. ตำแหน่งของอุกกาบาต

ตำแหน่ง	(HA , δ)	(α , δ)	(λ , β)
ต้นเส้นทาง (A)	($275.^\circ5$, $57.^\circ4$)	($96.^\circ0$, $57.^\circ4$)	($94.^\circ3$, $34.^\circ1$)
กึ่งกลาง (M)	($273.^\circ7$, $56.^\circ3$)	($97.^\circ8$, $56.^\circ3$)	($94.^\circ4$, $33.^\circ0$)
ท้ายเส้นทาง(B)	($272.^\circ0$, $55.^\circ3$)	($99.^\circ5$, $55.^\circ3$)	($96.^\circ2$, $32.^\circ1$)

2. ความเร็วของอุกกาบาต

2.1 ความเร็วปรากฏของอุกกาบาตเมื่ออยู่ในบรรยากาศโลกเทียบกับผู้สังเกตบนโลก

$\vec{v}_o$ = 43.3 km/s

ทำมุมกับระนาบเส้นศูนย์สูตรท้องฟ้า(CE) เป็นมุม $\theta_{co} = 30.^\circ4$

2.2 ความเร็วปรากฏของอุกกาบาตเมื่ออยู่นอกบรรยากาศโลกเทียบกับผู้สังเกตบนโลก

$\vec{v}_\infty$ = 44.3 km/s

ทำมุมกับระนาบเส้นศูนย์สูตรท้องฟ้า(CE) เป็นมุม $\theta_{c\infty} = \theta_{co} = 30.^\circ4$

2.3 ความเร็วของอุกกาบาตนอกบรรยากาศโลกเทียบกับจุดศูนย์กลางของโลกในสนามแรงโน้มถ่วงของโลก

$\vec{v}_a$ = 43.9 km/s

ทำมุมกับระนาบเส้นศูนย์สูตรท้องฟ้า(CE) เป็นมุม $\theta_{ca} = 30.7^\circ$

และทำมุมกับระนาบอิคลิปติก เป็นมุม $\theta_{ea} = 46.8^\circ$

2.4 ความเร็วของอุกกาบาตนอกบรรยากาศโลกเทียบกับจุดศูนย์กลางของโลกเมื่ออยู่นอกสนามแรงโน้มถ่วงของโลก

$\vec{v}_G$ = 42.4 km/s

ทำมุมกับระนาบอิคลิปติก เป็นมุม $\theta_{eG} = \theta_{ea} = 46.8^\circ$

2.5 ความเร็วที่แท้จริงของอุกกาบาตที่เคลื่อนที่เทียบกับดวงอาทิตย์

$\vec{v}_H$ = 62.2 km/s

ทำมุมกับระนาบอิคลิปติก เป็นมุม $i = 29.8^\circ$

3. การเคลื่อนที่ของอุกกาบาต

อุกกาบาตดวงนี้มีวงโคจรเป็นแบบไฮเปอร์โบลา

เพราะว่า $\vec{v}_H$ มีค่ามากกว่า 42 km/s

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย