หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# บทที่ 2

## วิเคราะห์ข้อมูลจากสังเกตการณ์

<u>จำนวนอุกกาบาตและแมกนิจูด</u>

ในคืนเดือนมืดท้องฟ้าแจ่มใส โดยเฉลี่ยเราจะสามารถเห็นอุกกาบาตด้วยตาเปล่า ซึ่งมีแมกนิจูดสว่างกว่าหรือเท่ากับ +6 ประมาณ 5-10 ดวงต่อชั่วโมง ทั่วทุกส่วนของโลกนี้จะมีอุกกาบาตที่สว่างพอเห็นได้มีจำนวนถึงราว 20-25 ล้านดวงต่อวัน อุกกาบาตที่มีแสงน้อยๆ (telescopic meteors) ยิ่งจะมีมากกว่านี้ ถ้าส่องกล้องสองตาหรือกล้องโทรทรรศน์ดูจะช่วยให้เห็นอุกกาบาตที่สว่างน้อยกว่าที่ตาจะเห็นได้ถึง 100 เท่า จะมีจำนวนอุกกาบาตที่มีแมกนิจูดสว่างกว่าหรือเท่ากับ +10 ถึง 5-10 พันล้านดวงต่อวัน โดยปกติเราจะเห็นอุกกาบาตพวกนี้ได้ในตอนหลังเที่ยงคืนไปแล้วมากกว่าตอนหัวค่ำ ทั้งนี้เป็นเพราะว่าในการที่โลกหมุนและโคจรไปรอบๆ ดวงอาทิตย์ด้วยนั้น ซีกของโลกด้านที่เป็นตอนก่อนเที่ยงคืนจะได้รับอุกกาบาตแต่พวกที่วิ่งเร็วกว่าโลกและตามทันโลก แต่ทางซีกโลกด้านถัดเที่ยงคืนไปนั้นจะได้รับอุกกาบาตที่พุ่งสวนทางกับโลกด้วย ปริมาณรวมเฉลี่ยแล้วจึงมากกว่า

เนื่องจากการนับจำนวนอุกกาบาตส่วนใหญ่ได้มาจากการมองดูด้วยตาเปล่า เราจึงควรใช้แมกนิจูดสัมบูรณ์ของการเห็นอุกกาบาต (M) เป็นขนาดมาตรฐาน ซึ่งนิยามไว้ว่าเป็นแมกนิจูดปรากฏของอุกกาบาตที่อยู่สูงขึ้นไปยังจุดยอดฟ้า(Zenith)ของผู้สังเกต 100 km จะได้

$$N_M = n_M \frac{r}{r-1} \qquad (2.1)$$

และ

$$\frac{N_{M1}}{N_{M2}} = \frac{n_{M1}}{n_{M2}} = r^{(M1-M2)}$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เมื่อ $N_M$ เป็นจำนวนอุกกาบาตที่มีแมกนิจูดสว่างกว่าหรือเท่ากับ M ที่เข้ามาในพื้นที่เดียวกัน

$n_M$ เป็นจำนวนอุกกาบาตที่มีแมกนิจูด M ที่เข้ามาในบรรยากาศของผิวโลกมากกว่า $10^4$ ตารางกิโลเมตรต่อชั่วโมง

M เป็นแมกนิจูดปรากฏของอุกกาบาตที่เกิดขึ้นเหนือศีรษะของผู้สังเกตขึ้นไป 100 km

r เป็นจำนวนอุกกาบาตที่มีแมกนิจูด M ต่อจำนวนอุกกาบาตที่มีแมกนิจูด M-1 ซึ่งจะมีค่าคงที่ โดยที่ r มีค่า 2.5 - 4 เราสามารถใช้ค่า r = 3.7 เป็นค่าเฉลี่ยที่ดีที่สุดสำหรับแมกนิจูดสัมบูรณ์ในช่วง -6 ถึง +1 สำหรับอุกกาบาตที่สว่างน้อยกว่านี้ค่า r จะน้อยลง และ อาจมีค่าเท่ากับ 2.5 สำหรับอุกกาบาตที่มีแมกนิจูดสัมบูรณ์ +5 สำหรับอุกกาบาตที่มีแมกนิจูด +5 < M < +10 หาค่า rได้ประมาณ 2.5 อย่างไรก็ตาม ค่า r สำหรับอุกกาบาตดวงจางจะมีค่าไม่แน่นอนมากนัก เนื่องจากไม่สามารถนับจำนวนอุกกาบาตได้อย่างถูกต้องแน่นอน

ผู้สังเกตด้วยตาเปล่าจะกะประมาณความสว่างของอุกกาบาตได้ด้วยการเปรียบเทียบกับดาว ดังนั้น อุกกาบาตที่จางที่สุดที่เราสามารถมองเห็นได้จะมีแมกนิจูด +6 ในทางปฏิบัติ เนื่องจาก เป็นการยากมากที่จะเห็นการเคลื่อนที่ของอุกกาบาตที่มีความสว่างน้อยเท่านี้ และขีดจำกัดในการมองจริงๆ แล้ว คือ ขนาดแมกนิจูดไม่เกิน +5 เท่านั้นเอง ความสว่างของอุกกาบาตจะเพิ่มขึ้นด้วยแฟคเตอร์ 2.512 สำหรับแต่ละขั้นของ 1 แมกนิจูด ถ้าอุกกาบาตแผ่ความสว่างออกมา 1 $erg \cdot s^{-1}$ ขนาดแมกนิจูด (M) ที่ได้จะเป็น

$$M = 24.3 - 2.5 \log I \qquad (2.2)$$

ดังนั้น อุกกาบาตที่มีแมกนิจูดศูนย์ จะสว่างกว่าอุกกาบาตที่มีแมกนิจูด +5 ประมาณ 100 เท่า อุกกาบาตที่สว่างกว่าอุกกาบาตที่มีแมกนิจูดศูนย์จะมีแมกนิจูดเป็นค่าติดลบ อุกกาบาตที่มีแมกนิจูด -4.4 จะสว่างเท่ากับดาวศุกร์ ส่วนอุกกาบาตที่มีแมกนิจูด -12.6 จะสว่างเท่ากับดวงจันทร์เวลาเต็มดวง

สมาคมอุกกาบาตแห่งอเมริกา ภายใต้การนำของ C.P. Oliver ได้รวบรวมข้อมูลจากผู้สังเกตสมัครเล่นกว่า 100 คนในอเมริกา ทำการประมาณอัตราอุกกาบาตต่อชั่วโมงซึ่งคาดว่าจะเกิดขึ้นในแต่ละคืนแต่ละปี ดังที่ให้ไว้ใน ตารางที่ 2.1

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.1 จำนวนอุกกาบาตต่อชั่วโมงที่เวลา 03.00 น. ภายใต้เงื่อนไขอุดมคติ

(จากสมาคมอุกกาบาตแห่งอเมริกา ; A.M.S.)

| DAY | JAN. | FEB. | MAR. | APR. | MAY. | JUNE. | JULY. | AUG. | SEPT. | OCT. | NOV. | DEC. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 19 | 24 | 12 | 10 | 13 | 14 | 9 | 37 | 10 | 10 | 15 | 22 |
| 2 | 33 | 3 | (8) | 9 | 14 | 6 | 16 | 23 | 18 | 12 | 16 | 18 |
| 3 | 30 | 21 | 5 | 12 | 19 | 8 | 21 | 22 | 15 | 18 | 23 | 30 |
| 4 | 20 | 16 | 13 | 5 | 19 | 10 | 15 | 32 | 10 | 19 | (17) | 19 |
| 5 | 17 | (16) | 5 | 7 | 18 | 4 | 26 | 14 | 23 | 17 | 11 | 18 |
| 6 | 16 | 16 | 14 | 4 | 19 | 9 | 14 | 20 | 22 | 15 | 12 | 19 |
| 7 | (16) | 4 | 11 | 9 | 18 | 8 | 21 | 21 | 19 | 18 | 17 | 36 |
| 8 | 17 | 10 | 10 | 5 | 15 | 13 | 19 | 35 | 16 | 20 | 10 | 18 |
| 9 | 25 | (11) | 14 | 12 | 18 | 16 | 32 | 33 | 14 | 17 | 15 | 12 |
| 10 | (20) | (12) | 11 | 21 | 12 | 21 | 18 | 42 | 14 | 12 | 11 | 29 |
| 11 | 14 | 12 | 11 | 8 | 25 | (17) | 22 | 66 | 34 | 23 | 19 | 25 |
| 12 | 26 | 11 | (12) | 11 | 26 | 13 | 13 | 39 | (22) | 18 | 15 | 83 |
| 13 | 19 | 19 | 13 | 20 | 21 | 20 | 20 | 32 | 10 | 20 | 14 | 44 |
| 14 | 12 | 13 | 26 | 8 | 9 | 7 | 35 | 29 | 13 | 17 | 21 | 30 |
| 15 | 11 | 13 | 11 | 10 | 10 | 18 | 9 | 17 | 13 | 21 | 25 | 18 |
| 16 | 20 | 9 | 5 | 9 | 13 | (17) | 24 | 16 | 28 | 20 | (20) | 23 |
| 17 | 16 | 3 | 11 | 7 | 12 | (16) | 22 | 26 | 13 | 20 | 15 | 18 |
| 18 | 20 | (7) | 17 | 18 | 12 | (15) | 11 | 18 | 8 | 21 | 21 | 18 |
| 19 | 12 | 22 | 8 | 7 | 11 | 14 | 13 | 19 | 19 | 24 | 13 | 22 |
| 20 | 16 | 15 | 8 | 10 | 12 | 31 | 23 | 24 | 18 | 25 | 13 | 17 |
| 21 | 19 | (15) | 10 | 14 | (13) | 13 | 14 | 22 | 25 | 41 | 31 | 16 |
| 22 | 17 | (15) | 12 | 14 | (13) | 23 | 33 | 32 | 25 | 25 | 28 | 7 |
| 23 | 12 | (15) | 6 | 9 | 14 | 40 | 17 | 24 | 21 | 25 | 19 | 27 |
| 24 | 12 | 15 | 2 | 6 | 20 | 5 | 36 | 11 | 20 | 19 | 15 | 16 |
| 25 | 14 | 9 | 8 | 14 | 14 | 9 | 31 | 21 | 19 | 17 | (17) | 23 |
| 26 | 12 | 12 | 6 | 8 | 21 | 12 | 34 | 22 | 17 | 22 | (19) | 16 |
| 27 | 10 | 16 | 8 | 11 | 9 | 22 | 24 | 24 | 27 | 28 | 21 | 28 |
| 28 | (14) | 8 | (5) | 14 | 20 | 20 | 28 | 23 | 15 | 22 | 16 | 15 |
| 29 | 16 | 15 | 1 | 13 | 7 | 14 | 23 | 17 | 10 | 10 | 30 | 19 |
| 30 | 20 | ... | 12 | 10 | 28 | 18 | 29 | 20 | 11 | 22 | 15 | 25 |
| 31 | 14 | ... | (11) | ... | (21) | ... | 30 | 15 | ... | 22 | ... | 11 |

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โดยปกติแล้วเราไม่สามารถคาดว่าจะเห็นอุกกาบาตได้มากเท่าใน ตารางที่ 2.1ได้ เนื่องจากว่า อัตราเหล่านี้เป็นจำนวนที่สังเกตเห็นได้มากในบรรยากาศบริเวณทะเลทราย และยอดเขา หมอกบางๆ, แสงจันทร์, แสงจากในเมือง และกลุ่มเมฆบางส่วน จะทำให้อัตราการมองเห็นลดน้อยลง ส่วนดวงดาวที่มีแสงน้อยที่สุดที่เห็นได้ภายใต้เงื่อนไขทางอุดมคติอาจจะมีขนาดแมกนิจูด +6.5 ซึ่งโดยปกติแมกนิจูดที่จำกัดไว้มักจะไม่ค่อยเกิน +6.0 หรือ +5.5 การสูญเสียแมกนิจูดไปหนึ่งแมกนิจูดจะทำให้อัตราการมองเห็นลดลงโดยแฟคเตอร์ของ 3.4 ดังนั้นจำนวนตัวเลขในตารางควรจะถูกหารด้วยแฟคเตอร์ 2 เพื่อที่จะให้ได้ค่าที่ใกล้เคียงขึ้นซึ่งจะถูกคาดไว้ภายใต้เงื่อนไขโดยเฉลี่ย โดยปกติ เราจะเห็นอุกกาบาตมากขึ้นหลังเที่ยงคืน และในตารางนี้จะมีแบ่งเวลาเป็นชั่วโมงระหว่างเวลา 03.00 - 04.00 น. ส่วนในวงเล็บจะเป็นอัตราที่เกิดในช่วงเวลา 02.00 - 03.00 น.

ส่วนใน **ตารางที่ 2.2** แสดง อัตราการเกิดอุกกาบาตเป็นฟังชั่นของแมกนิจูดที่เห็นด้วยสายตาที่ได้มาจากแมกนิจูดที่ได้จากภาพถ่าย แล้วนำมาแปลงให้เข้ากับแมกนิจูดที่เห็นด้วยตา

<u>ตารางที่ 2.2</u> อัตราการเห็นอุกกาบาตประเภท sporadic *

| Magnitude(M) | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| HR (N) | $5.0x10^{-6}$ | $2.9x10^{-5}$ | $1.7x10^{-4}$ | $6.5x10^{-4}$ | $2.2x10^{-3}$ | $7.2x10^{-3}$ |

* หมายถึง จำนวนอุกกาบาตต่อตารางกิโลเมตรต่อชั่วโมง ซึ่งมีแมกนิจูดวิชวลสว่างกว่าหรือ เท่ากับ M

สมาคมอุกกาบาตแห่งอเมริกา (A.M.S.) มีข้อมูลเกี่ยวกับอุกกาบาตที่มีความสว่างมากๆ ซึ่งเรามักจะพบเห็นอยู่บ่อยๆ อัตราเฉลี่ยของอุกกาบาตที่สว่างกว่าแมกนิจูด M ที่ให้มาแสดงไว้ ใน **ตารางที่ 2.3**

<u>ตารางที่ 2.3</u> อัตราเฉลี่ยการเห็นอุกกาบาตดวงสว่าง

| (M) | -5 | -6 | -7 | -8 | -9 | -10 | -15 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| (N) | $1.3x10^{-2}$ | $5.1x10^{-3}$ | $2.0x10^{-3}$ | $8.1x10^{-4}$ | $3.2x10^{-4}$ | $1.3x10^{-4}$ | $1.3x10^{-6}$ |

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตัวเลขเหล่านี้ นำมาใช้กับคืนที่ไม่มี meteor stream ที่สำคัญๆ ให้เห็นชัด ซึ่งสามารถแสดงให้เห็นว่า เราต้องใช้เวลาคอยถึง 76 ชั่วโมง เราจึงจะมีโอกาสเห็นอุกกาบาตขนาดแมกนิจูด -5 สำหรับอุกกาบาตที่สว่างกว่า -10 เราต้องใช้เวลาคอยเพื่อที่จะดูถึง 7600 ชั่วโมง ดังนั้นอุกกาบาตที่สว่างจึงหาดูได้ยากและต้องใช้เวลานานหลายปีเพื่อสังเกตระบบของมันก่อนที่ผู้เฝ้าดูจะมั่นใจว่าเห็นวัตถุที่น่าตื่นเต้นนี้ ถึงแม้ปัญหาเกี่ยวกับทางสถิติจะเป็นปัญหาอันหนึ่งและค่าเฉลี่ยของเวลาในการคอยดูจะเป็นช่วงเวลานาน เราก็ยังมีโอกาสแน่นอนเพียงเล็กน้อยเสมอที่จะเห็นอุกกาบาตดวงสว่าง เมื่อใดก็ตามที่เรามองดูท้องฟ้า

การถ่ายรูปอุกกาบาตอย่างเป็นระบบครั้งแรกทำขึ้นโดย W.L.Elkin ซึ่งทำกว่า 16 ปี ในช่วง พ.ศ.2436-2452 โดยใช้กล้องขนาดเล็กเป็นแบบที่ใช้ถ่ายรูปคนหรือรูปวิวต่างๆ ใช้เลนส์ความยาวโฟกัสประมาณ 20 cm และ ช่องรับแสง (aperture) ประมาณ 5 cm ในการถ่ายภาพทั่วๆ ไป ความเร็วในการปิดเปิดหน้ากล้องถูกวัดโดย f-number ซึ่งจะเท่ากับ f/A เมื่อ A เป็นเส้นผ่าศูนย์กลางของช่องรับแสง (aperture) ของเลนส์ และ f เป็นความยาวโฟกัส ปริมาณแสงที่ถูกรวมจากภาพหนึ่งๆ จะเป็นสัดส่วนกับ $A^2$ แสงนี้จะแผ่กระจายไปทั่วบริเวณภาพ ซึ่งเป็นสัดส่วนกับ $f^2$ ดังนั้น $(f\text{-number})^{-2}$ จึงเป็นสัดส่วนกับปริมาณของแสงที่ตกลงบนแผ่นฟิล์ม

แมกนิจูดวิชวล M ที่มีขีดจำกัดมากที่สุดของกล้องที่มีช่องรับแสง (aperture) เป็น A cm และมีความยาวโฟกัสเป็น f นั้น เราสามารถเขียนได้ว่า

$$M = 2.5 \log (A^2/f) \qquad (2.3)$$

ซึ่งสันนิษฐานได้ว่า กล้องคงจะใช้ฟิล์มที่ไวแสงอย่างเช่น ฟิล์ม Tri-X ความสัมพันธ์อันนี้ใช้ได้กับอุกกาบาตที่เคลื่อนที่ช้าๆ หรือ อุกกาบาตที่สั้นมากๆ ใกล้เรเดียนท์ ภายใต้สภาพโดยเฉลี่ยขีดจำกัดของแมกนิจูดที่สว่างกว่าจะห่างกันประมาณ 1 แมกนิจูด หรือ $M_{av} = M-1$ จากมการ (2.3) และจากอัตราการเข้ามาของอุกกาบาตที่เรารู้เราสามารถหาสมการคร่าวๆ สำหรับจำนวนอุกกาบาตที่ถ่ายภาพได้จำนวน N ดวงต่อชั่วโมง สำหรับกล้องเฉพาะใดๆ ได้ดังนี้

$$N = 4 \times 10^{-6} W^2 A^{2.7} f^{-1.3} \qquad (2.4)$$

ซึ่ง W คือความกว้างของบริเวณที่มองเห็นได้ (field of view) ในหน่วยองศา

อัตราอุกกาบาตต่อชั่วโมง (hourly rate) ที่คาดไว้สำหรับกล้องแบบต่างๆ ที่แสดงใน **ตารางที่ 2.4** เหล่านี้นำมาใช้กับอุกกาบาตประเภท sporadic ส่วนอุกกาบาตประเภท shower ที่สำคัญๆ จะมีจำนวนเพิ่มขึ้นโดยแฟคเตอร์ของ 10 อย่างคร่าวๆ

ตารางที่ 2.4 จำนวนอุกกาบาต N ดวงต่อชั่วโมง ที่คาดว่าจะเจอสำหรับกล้องขนาดต่างๆ

| | f-number | f (cm) | A (cm) | W (deg) | M | N ($hr^{-1}$) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Small camera | 4 | 20 | 5 | 45 | 0.2 | $1 \times 10^{-2}$ |
| 35-mm camera | 1.5 | 4.5 | 3 | 45 | 0.8 | $2 \times 10^{-2}$ |
| Super-Schmidt camera | 0.8 | 20 | 31 | 55 | 4.2 | 2 |
| 200-in. telescope | 3.3 | 1690 | 508 | 1/30 | 5.4 | $4 \times 10^{-6}$ |

**ประเภทของอุกกาบาต**

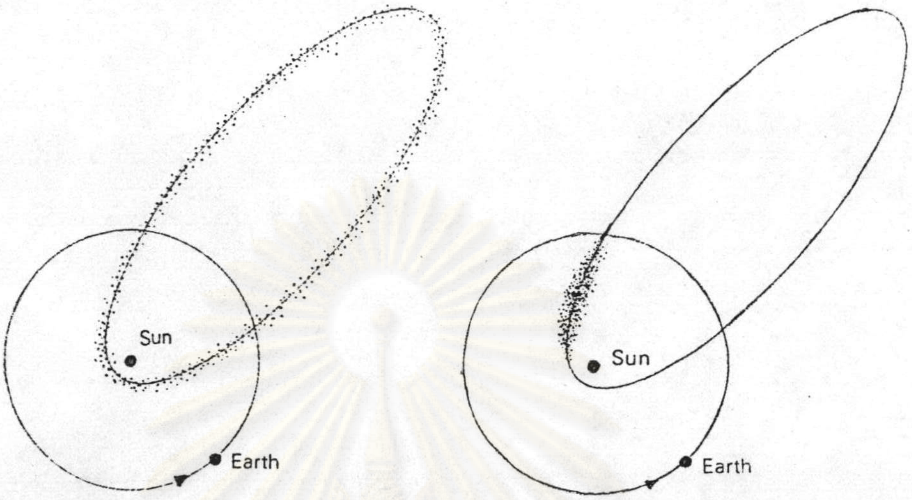
แบ่งอุกกาบาตตามลักษณะปรากฏการณ์ แบ่งได้ 2 ประเภท คือ

1. **ประเภทกระจัดกระจาย (sporadic)** ซึ่งเกิดขึ้นอย่างไม่มีเวลาและทิศทางที่มาแน่นอน

2. **ประเภทฝนอุกกาบาต (shower)** ซึ่งมาจากทิศเดียวกัน ถ้าโลกโคจรผ่าน **กลุ่มอุกกาบาต (swarm)** หรือ **ธารอุกกาบาต (stream)** ดัง**รูปที่ 2.1** เราจะเห็นอุกกาบาตตกลงมาจากท้องฟ้าอย่างมากมาย คล้ายกับพุ่งออกมาจากจุดใดจุดหนึ่งร่วมกันบนท้องฟ้า เรียกตำแหน่งนั้นว่า **เรเดียนท์** (radiant) ทำนองเดียวกับเรามองดูรางรถไฟที่ขนานกันแต่เห็นเหมือนกับว่ามันแยกออกมาจากจุดหนึ่งในที่ไกลๆ นั่นเอง ดัง**รูปที่ 2.2** ฝนอุกกาบาตที่มาปรากฏในเวลาสม่ำเสมอนี้ มีชื่อเรียกตามกลุ่มดาวฤกษ์ที่มีเรเดียนท์ปรากฏอยู่ หรือไม่ก็ตามชื่อดาวฤกษ์ดวงสว่างที่อยู่ใกล้ๆ เรเดียนท์นั้น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

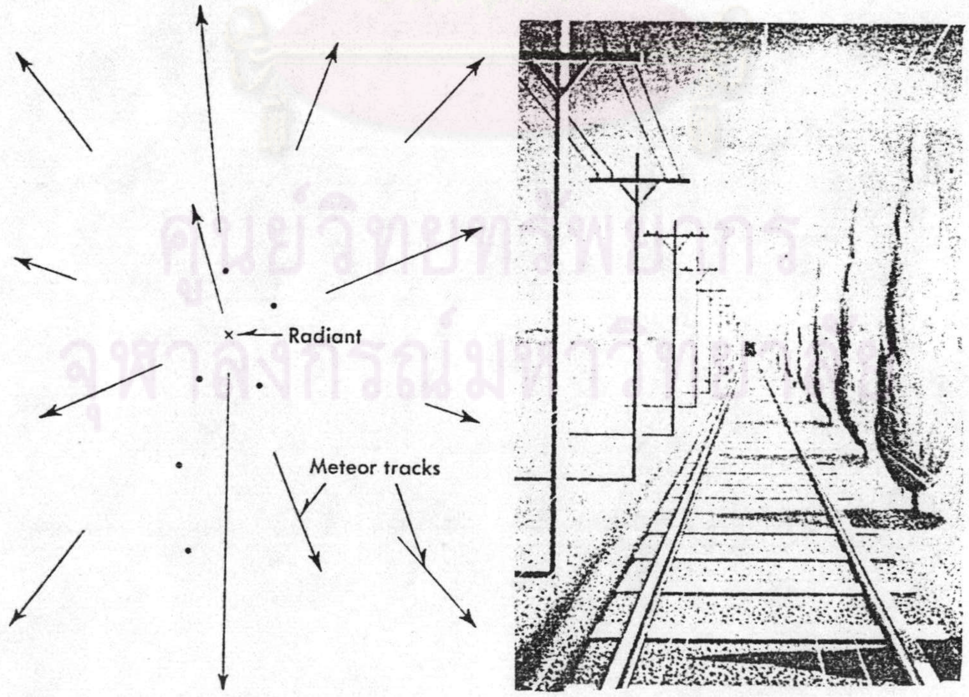
<u>รูปที่ 2.1</u> **ฝนอุกกาบาต (shower)** มีทีออรอยด์ที่มาเป็นกลุ่มเป็นฝูงอาจกระจายอยู่ค่อนข้างสม่ำเสมอทั่วทุกส่วนในวงโคจรเป็น **ธารอุกกาบาต (stream)** (ก) หรือไม่ก็รวมกันเป็นกลุ่มใหญ่อยู่เพียงบางส่วนในทางโคจร (ข)




(ก) (ข)

<u>รูปที่ 2.3</u> **เรเดียนท์**

(ก) เรเดียนท์ของฝนอุกกาบาต (ข) เส้นขนานที่ปรากฏว่าถ่างห่างออกจากกันมาจากที่ไกล




(ก) (ข)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ในปีหนึ่งๆ มีอยู่บ่อยครั้งที่พบว่า มีอุกกาบาตปรากฏให้เห็นเป็นจำนวนมากกว่าปกติ อุกกาบาตแบบนี้จะปรากฏให้เห็นต่อเมื่อโลกโคจรเข้าไปพบกับฝนอุกกาบาต(shower)ที่เคลื่อนที่เป็นกลุ่มมากมายในอวกาศ มีอยู่หลายๆ กลุ่มที่เรารู้จัก และโลกโคจรเข้าไปปะทะในทุกช่วงเวลาที่ค่อนข้างสม่ำเสมอ และเราสามารถพยากรณ์ได้ล่วงหน้าว่าจะพบกับฝนอุกกาบาตนี้เมื่อไร **(รูปที่ 2.1 ก และ ตารางที่ 2.8)** นานๆ จะมีสักครั้งหนึ่งที่โลกโคจรเข้าไปปะทะกับกลุ่มอนุภาควัตถุที่ก่อให้เกิดฝนอุกกาบาตมากมายราวกับห่าฝนโดยที่ไม่รู้ล่วงหน้ามาก่อน**(รูปที่ 2.1ข)**

ปรากฏการณ์ที่เห็นประหนึ่งว่าฝนอุกกาบาตพุ่งออกมาจากจุดร่วมเดียวกันนี้ก็เพราะว่าอุกกาบาตเหล่านี้ล้วนอยู่ในกลุ่มเดียวกัน โคจรไปใกล้ๆ กันเป็นทางขนานกันไปรอบดวงอาทิตย์ เมื่อโลกผ่านเข้าไปในกลุ่มนี้ก็จะมี meteoroid มากมายเข้าปะทะกับบรรยากาศโลก ซึ่งล้วนตรงเข้าหาโลกจากทิศทางเดียวกัน เมื่อเราอยู่บนพื้นโลกมองไปในทิศทางที่อนุภาคเหล่านั้นพุ่งเข้ามา มันจึงปรากฏเหมือนกระจายออกมาจากจุดหนึ่งในทิศทางนั้น ความจริงแล้วเรเดียนท์ของอุกกาบาตมิใช่จะเป็นจุดชัดเจนทีเดียวนัก หากแต่ดูราวกับว่าอุกกาบาตพุ่งออกมาจากบริเวณเล็กๆส่วนหนึ่งบนท้องฟ้า บางกลุ่มก็มีบริเวณแคบขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเพียง 3 ลิปดา บางกลุ่มก็มีเรเดียนท์เป็นบริเวณกว้างถึง 1 องศาก็มี ขนาดของเรเดียนท์จะกว้างหรือแคบย่อมแล้วแต่ว่าอนุภาคในกลุ่มนั้นมันอยู่ใกล้ชิดกันมากน้อยเพียงใด ถ้าหากหนาแน่นหรืออยู่ใกล้ๆ กันมากก็จะยิ่งปรากฏเป็นฝนอุกกาบาตที่น่าดูมาก และทั้งยังขึ้นกับว่า โลกเข้าไปใกล้ส่วนหนาแน่นที่สุดของกลุ่มมากหรือน้อยด้วย

มีอุกกาบาตหลายดวงที่จัดเป็นพวกที่ไม่เป็นระเบียบ ไม่อยู่ในกลุ่มใด ที่เรียกว่าเป็น sporadic นั้น ความจริงมันอาจเป็นสมาชิกของกลุ่มที่มาปรากฏเป็นฝนอุกกาบาตก็ได้แต่ไม่ชัด-เจนหรือมีไม่มากนักทั้งมันมาปรากฏโดยไม่เป็นที่สนใจมากนักก็ได้ ผู้สังเกตที่อดทนหน่อยจะพบว่าคืนหนึ่งๆ มีอุกกาบาต 3-4 ดวงขึ้นไป ปรากฏให้เห็นซึ่งดูประหนึ่งว่ามันจะวิ่งออกมาจากจุดร่วมเดียวกันด้วย อุกกาบาตหลายดวงเช่นนี้อาจเป็นสมาชิกในกลุ่มเล็กๆ กลุ่มเดียวกันก็ได้

จากการใช้ คลื่นเรดาร์ สะท้อนกลับเมื่อกระทบลำก๊าซที่เป็นอิออน อันเกิดขึ้นเมื่ออุกกาบาตเคลื่อนที่ผ่านไปอย่างรวดเร็ว และยังพบว่าคลื่นวิทยุขนาดความยาวคลื่น 4-5 เมตร ก็สะท้อนกับลำอิออนของก๊าซดังกล่าวได้ ถ้าคลื่นวิทยุไปกระทบทางด้านข้าง (คลื่นที่สั้นกว่า 4 เมตร มักไม่สะท้อนนอกจากกลุ่มอิออนนั้นจะหนาแน่นที่สุดเท่านั้น) ด้วยเหตุนี้อุกกาบาตที่เป็นส่วนหนึ่งของกลุ่มก็อาจตรวจสอบดูได้โดยใช้เรดาร์ขนาดความยาวคลื่น 4-5 เมตร เฉพาะเมื่อลำ

คลื่นเรดาร์มีทิศทางเกือบตั้งฉากกับทิศทางของเรเดียนท์ของฝนอุกกาบาต (คือทิศทางที่มาของ meteoroid) ถ้าใช้เรดาร์กวาดท้องฟ้าดู พลังงานสูงสุดจะสะท้อนกลับมาจากอุกกาบาตในแนวรอบวงกลมใหญ่บนท้องฟ้าที่ห่างจากเรเดียนท์ 90 องศา ดังนั้น การใช้เรดาร์จึงสามารถหาเรเดียนท์ของฝนอุกกาบาตได้ แม้จะเป็นเวลากลางวันที่เราไม่สามารถจะมองเห็นอุกกาบาตได้ เท่าที่พบมาแล้วก็พบอุกกาบาต 4 กลุ่มด้วยกัน ซึ่งถ้ามองเห็นในตอนกลางวันได้ อย่างน้อยก็ต้องมีจำนวนมากพอๆ กับกลุ่มอุกกาบาตที่มีประจำในตอนกลางคืน

นอกจากนั้นยังมีปรากฏการณ์อีกชนิดหนึ่ง ซึ่งเข้าใจว่าเกิดจากการสะท้อนแสงอาทิตย์ของวัตถุซึ่งมีอุกกาบาตจำนวนมากโคจรอยู่ในวงทางโคจรแถบระนาบอิคลิปติก ปรากฏเป็นแสงเรืองแผ่กระจายไปรอบท้องฟ้าในแนวอิคลิปติก และ เรียกกันว่า **แสงจักรราศี (Zodiacal Light)**

นอกจากนี้ยังสามารถแบ่ง อุกกาบาตเฉพาะที่ตกลงมาถึงพื้นโลกตามองค์ประกอบทางเคมีได้ 3 ประเภทคือ

1. **<u>ประเภทหิน</u> (areolites)** ซึ่งมีความหนาแน่นต่ำมาก ประกอบด้วยหินแก้วซิลิเกต เป็นส่วนใหญ่ มีโลหะเช่น เหล็ก นิเกิล อยู่ประมาณ 10 % - 15 % เป็นลูกอุกกาบาตชนิดที่พบบนโลกมากที่สุด

2. **<u>ประเภทหิน-เหล็ก</u> (siderolites)** เป็นลูกอุกกาบาตชนิดที่หายาก ประกอบด้วยหินแทรกอยู่ในเนื้อเหล็ก มีส่วนประกอบเป็นเหล็กอยู่ประมาณครึ่งหนึ่ง ส่วนที่เหลือเป็นพวกแก้วซิลิเกต

3. **<u>ประเภทเหล็ก</u> (siderites)** ซึ่งมีความหนาแน่นสูง เป็นโลหะผสม มีเหล็กประมาณ 85 % - 95 % ที่เหลือส่วนใหญ่เป็น นิเกิล

**มณีหยาดฟ้า หรือ อุลกมณี (tektites)** นั้นมีลักษณะสีน้ำตาลเข้ม และ มีรูปร่างต่างๆ กัน ชิ้นเล็กยาวประมาณ 3 นิ้ว มีรูปร่างกลมใสคล้ายแก้วก็มี นิยมนำมาเจียระไนเป็นอัญมณี มีพบมากในประเทศไทย, อินโดนีเซีย, ออสเตรเลีย และ ที่อื่นอีกหลายแห่ง มีส่วนประกอบส่วนใหญ่เป็นแก้ว และมีก้อนโลหะเล็กๆ พวกเหล็กและนิเกิล ปะปนอยู่ด้วย นอกจากนี้ยังมีสารที่เป็นองค์ประกอบของอุกกาบาต แต่นักดาราศาสตร์บางกลุ่มเห็นว่า tektites เกิดจากวัตถุที่อยู่บนโลก คือ เมื่ออุกกาบาตก้อนโตๆ กระทบผิวโลก แรงกระทบ และ ความร้อนที่เกิดขึ้น จะทำให้ดินหรือหินบนผิวโลกส่วนนั้นหลอมตัวและกระเด็นไปไกลจากที่เดิม อาจกระเด็น

สูงขึ้นสู่อากาศแล้วตกลงสู่ผิวโลกอีก นักดาราศาสตร์บางกลุ่มมีความเห็นว่า tektites มาจากดวงจันทร์ โดยเฉพาะลูกอุกกาบาตก้อนโตๆ จะกระทบผิวดวงจันทร์ด้วยแรงมหึมา ทำให้หินบนดวงจันทร์กระเด็นไปทุกทิศทุกทาง หินบางก้อนอาจมีความเร็วมากพอที่จะหลุดลอยจากดวงจันทร์และถูกโลกดึงดูดมาให้ตกบนผิวโลก อย่างเช่น ลูกอุกกาบาต (meteorite) ด้วยเหตุนี้จึงยังไม่เป็นที่แน่นอนว่า tektites เกิดจากที่ใด แต่ก็มีหลักฐานว่า tektites ละลายภายใต้ความกดดันสูงมาก่อนแล้วเย็นตัวลงอย่างรวดเร็ว เนื้อในก็มีเม็ดเหล็ก และ นิเกิลกลมๆ ทั้งยังมีแร่ schreibersite เป็นส่วนประกอบซึ่งเป็นแร่เฉพาะที่มีพบในอุกกาบาตเท่านั้นด้วย

อุกกาบาตที่ตกลงมานั้นโดยมากเป็นพวกหินเพราะที่เก็บได้จากที่เห็นอุกกาบาตตกจริงนั้น เป็นหินถึง 93 % พวกนี้มักสลายตัวเพราะลมฟ้าอากาศ ทั้งยังมีลักษณะเหมือนหินในโลก ผู้เชี่ยวชาญเท่านั้นที่จะบอกได้แน่ว่าเป็นอุกกาบาตหรือไม่ โดยดูจากชิ้นส่วนของเหล็กที่ฝังอยู่ในหินอุกกาบาตนั้น ส่วนอุกกาบาตที่เก็บได้ในภายหลังนั้นเป็นพวกเหล็กราว 3 ใน 5 (หาพบพวกที่เป็นเหล็กในท้องที่ที่เจริญได้ยาก เพราะมนุษย์รู้จักใช้เหล็กมาหลายศตวรรษแล้ว) เมื่อเอาอุกกาบาตเหล็กมาตัดเรียบ ขัดมัน แล้วใช้กรดกัด จะพบว่าราว 80 % มีโครงสร้างรูปผลึกปรากฏเห็นชัดเจนบนผิวเรียบนั้น ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะตัวของอุกกาบาต โครงสร้างแบบนี้เรียกว่า **Widmanstatten figures** ซึ่งจะเป็นวิธีที่จะตรวจสอบให้รู้แน่ว่าเหล็กที่พบนั้นเป็นอุกกาบาตจริงหรือไม่ เท่าที่รู้จักกันมา อุกกาบาตที่เก็บตกได้ล้วนเป็นเศษของอุกกาบาตชนิด sporadic ทั้งสิ้น ไม่เคยปรากฏว่าเก็บอุกกาบาตได้จากฝนอุกกาบาต(shower) ที่สังเกตเห็นเลย แต่ว่าสเปคตรัมของแสงของฝนอุกกาบาต ก็แสดงว่า ประกอบด้วย ธาตุต่างๆ คล้ายในหินเหมือนกัน ได้มีการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของอุกกาบาตหลายชิ้นในห้องปฏิบัติการพบว่าอุกกาบาตประกอบด้วยธาตุต่างๆ อย่างเดียวกับที่มีพบในหินเปลือกโลกนั่นเอง ถ้าคิดเผื่อไว้ว่าอุกกาบาตหินมีมากกว่าอุกกาบาตเหล็กราว 9 เท่าตัวแล้วก็จะพบว่าธาตุต่างๆ มีปริมาณมากตามลำดับดังต่อไปนี้คือ เหล็ก 30-40 %, ออกซิเจน 30 %, ซิลิคอน 15 %, แมกนีเซียม 12 %, กำมะถันและนิเกิล อย่างละ 2 %, แคลเซียม 1 % และมี ถ่าน,โซเดียม, ตะกั่ว, คลอรีน, โปตัสเซียม,ไททาเนียม,โครเมียม, แมงกานีส,โคบอลท์, ทองแดง และ ธาตุอื่นๆ อีกอย่างละเล็กน้อย

มีหลักฐานแสดงว่า อุกกาบาตถูกกระบวนการ ablation กระทำระหว่างที่เคลื่อนที่ผ่านมาในบรรยากาศ ผิวชั้นนอกบางๆ ของอุกกาบาตเหล็กมีร่องรอยแสดงว่าถูกละลายมาก่อน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

017455

แต่อุกกาบาตผ่านอากาศมารวดเร็วมากเนื้อในมันไม่ทันจะร้อนตัวขึ้น เมื่ออุกกาบาตเคลื่อนที่ช้าลงเพราะแรงเสียดทานกับอากาศจนมีความเร็วเหลือ 3 กิโลเมตรต่อวินาที แล้วผิวนอกที่เป็นเหล็กที่หลอมละลายก็แข็งตัว เมื่อความเร็วลดลงเหลือ 1 กิโลเมตรต่อวินาที ก็หมดแสงสว่างเรืองทั้งหมด โดยมากเชื่อกันว่า พออุกกาบาตตกถึงพื้นโลกมันจะร้อนแดงอยู่ ความจริงไม่ใช่เช่นนั้น ที่เคยเก็บได้ทันทีที่ตกมันก็เย็นลงมากพอที่จะหยิบจับได้ ผิวนอกของอุกกาบาตหินก็อาจร้อนจนหลอมละลายระหว่างที่ผ่านเข้ามาในบรรยากาศเลยทำให้มีเนื้อเหมือนแก้วเพราะเย็นลงแข็งตัวรวดเร็ว พบว่าอุกกาบาตทั้งชนิดเหล็กและชนิดหิน มีผิวนอกหลอมละลายจนมีรูปร่างเป็นรูปกรวยก็มีบ้าง

สเปคตรัมของอุกกาบาตบางดวง ดูได้จาก รูปถ่ายด้วยกล้องที่มีออบเจคติฟเป็นปริซึม ปรากฏว่า แสงสว่างของอุกกาบาต กว่า 99 % เกิดจากการเปล่งแสง และมีเส้นเปล่งแสง (emission lines) ในสเปคตรัม เส้นสว่างที่ปรากฏในสเปคตรัมบ่งบอกว่าก๊าซสว่างเรืองนั้นร้อนมากมายหลายเคลวิน โดยมากพบมีเส้นสว่างที่เกิดจากแคลเซียมและเหล็ก ทั้งยังพบว่าเกิดจากธาตุ แมงกานีส ซิลิคอน อลูมิเนียม แมกนีเซียม โซเดียม ไนโตรเจน ไฮโดรเจน ไอออนของเหล็กและแคลเซียม ก็มีด้วย

ลูกอุกกาบาตขนาดใหญ่ที่สุด ที่เคยค้นพบในโลกมีชื่อว่า Hoba West พบใกล้ตำบลที่มีชื่อว่า Grootfontein ในแอฟริกาตะวันตกเฉียงใต้ มีปริมาตรราว 7 ลูกบาศก์เมตร มีมวลกว่า 50 ตัน อุกกาบาตที่ใหญ่ที่สุดที่ตั้งแสดงไว้ในพิพิธภัณฑ์ American Museum of Natural History ในกรุงนิวยอร์คนั้นหนัก 31 ตัน Peary เป็นผู้ค้นพบในกรีนแลนด์เมื่อ พ.ศ. 2440 อุกกาบาตชิ้นที่ใหญ่ที่สุดในสหรัฐอเมริกาพบในป่าใกล้เมือง Willamette มลรัฐโอเรกอนเมื่อปี พ.ศ.2445 มีมวลหนัก 13 ตัน (ผู้ค้นพบใช้เวลาถึง 3 เดือน กว่าจะขนย้ายอุกกาบาตนี้มาเป็นของตนได้แล้วตั้งแสดงเก็บค่าดูต่อมาตกเป็นของบริษัท Oregon Iron and Steel Company ซึ่งเป็นเจ้าของที่ดินที่พบอุกกาบาตนั้นตกอยู่)

มีแคตตาล็อกชื่อ Hey Catalogue of Meteorites แสดงรายการลูกอุกกาบาต (meteorites)ไว้ถึง 1800 รายการ ซึ่งเป็นอุกกาบาตที่เห็นตกลงมา (falls) และที่ค้นพบ (finds) ได้แสดงไว้ถึง 1015 รายการ

มีอุกกาบาตตกครั้งใหญ่สองครั้งเมื่อไม่นานมานี้ ครั้งหนึ่งตกในไซบีเรีย เมื่อวันที่ 30 มิถุนายน พ.ศ. 2451 มีอุกกาบาตขนาดใหญ่ปรากฏให้เห็นในตอนกลางวัน เศษชิ้นส่วนใหญ่น้อย

ของ meteoroids ตกอยู่ในป่าที่ Tunguska ในไซบีเรียตอนกลาง การตกกระทบพื้นโลกครั้งนั้นก่อให้เกิดคลื่นความสั่นสะเทือนที่สามารถบันทึกได้ด้วยเครื่องไซสโมกราฟหลายแห่ง ไกลออกไปถึงยุโรป ทั้งยังก่อให้เกิดคลื่นความกดดันอากาศ ซึ่งรายงานว่าตรวจวัดได้ในยุโรปเหมือนกัน ต้นไม้กิ่งก้านขาดกระจายล้มระเนระนาด เป็นแนวออกไปจากบริเวณที่ถูกตกกระทบ เป็นบริเวณรัศมีกว่า 30 กิโลเมตร กวางเรนเดียร์ตายราว 1500 ตัว ชายคนหนึ่งยืนอยู่ที่ระเบียงบ้านไกลออกไปถึง 80 กิโลเมตร ล้มลงหมดสติไป ไม่พบชิ้นส่วนของอุกกาบาตเดิมที่ตกลงมา และหลุมรอยแต่อย่างใดเลย ซึ่งต้องหมายความว่าวัตถุที่ตกเข้ามาต้องระเบิดกลางอากาศก่อนถึงพื้นโลก ประมาณว่าก่อนตกเข้ามาในบรรยากาศอุกกาบาตนี้มีมวลถึง $10^5$ ตัน เนื่องจากมวลวัตถุธาตุทั้งหมดสลายตัวโดยสิ้นเชิง จึงมีผู้ตั้งสมมุติฐานขึ้นว่าอุกกาบาตครั้งนั้นต้องเป็นนิวเคลียสของดาวหางขนาดเล็ก แต่วัตถุดังกล่าวต้องมีขนาดเล็กขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางไม่เกิน 60 เมตร ซึ่งเล็กกว่าดาวหางทั้งปวงที่จะเห็นได้ด้วยตาเปล่า หรือที่จะถ่ายรูปได้หลายเท่านัก

อุกกาบาตครั้งใหญ่คราวที่สองก็ตกในไซบีเรียอีกเมื่อวันที่ 12 กุมภาพันธ์ พ.ศ.2490 ใกล้เมืองวลาดิวอสตอก อุกกาบาตที่ตกลงมาครั้งนั้นมีผู้เล่าว่าสว่างจ้าอย่างกับดวงอาทิตย์ การตกกระทบคราวนั้นทำให้เกิดหลุมอุกกาบาตใหญ่น้อยถึง 106 หลุม ที่มีขนาดใหญ่ที่สุดวัดได้ 28 เมตร ลึก 10 เมตร ต้นไม้ในบริเวณนั้นก็ล้มกระจายโดยปลายลำต้นชี้ออกไปในแนวรัศมีรอบหลุมใหญ่แต่ละหลุม บริเวณทั้งหมดกว้างเกือบ 5 ตารางกิโลเมตร พบและเก็บชิ้นส่วนของอุกกาบาตเหล็กใหญ่น้อยได้ในบริเวณเกือบ 23 ตัน

อุกกาบาตที่ตกในประเทศไทย ก็มีตั้งไว้ให้ชมที่ท้องฟ้าจำลองกรุงเทพ เป็นอุกกาบาตหินที่มีขนาดไม่ใหญ่โตนัก นอกจากนี้ยังมีเศษอุกกาบาตที่เก็บได้จากการระเบิดของลูกไฟอุกกาบาตที่อำเภอเชียงคาน จังหวัดเลย ซึ่งมีรายงานว่า เมื่อก่อนย่ำรุ่ง เวลา 05.30 น.ของวันที่ 17 พฤศจิกายน พ.ศ.2524 ประชาชนจำนวนนับพันที่ตื่นเช้าในจังหวัดภาคกลาง และภาคตะวันออกเฉียงเหนือได้เห็นลูกไฟใหญ่ส่องแสงแจ่มจ้ากว่าแสงจันทร์ ปรากฏขึ้นบนท้องฟ้าเหนือประเทศไทย เคลื่อนที่อย่างรวดเร็วไปบนท้องฟ้าแล้วไประเบิดเหนืออำเภอเชียงคาน จังหวัดเลย มีชิ้นส่วนอุกกาบาตตกลงในอำเภอเชียงคาน และเสียงระเบิดได้ยินกันทั้งในจังหวัดเลยและจังหวัดใกล้เคียง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ได้จัดส่งคณะนักวิทยาศาสตร์ไปสำรวจปรากฏการณ์นี้ คณะสำรวจมี ศาสตราจารย์ ดร.ระวี ภาวิไล เป็นหัวหน้าคณะ ผู้ร่วมคณะคือ ดร.นภดล

ม่วงน้อยเจริญ หัวหน้าภาควิชาธรณีวิทยา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ปองศักดิ์ พงษ์ประยูร และ ดร.พรชัย พัชรินทร์ตนะกุล คณะสำรวจเดินทางไปถึงจังหวัดเลย ในวันที่ 21-23 พฤศจิกายน พ.ศ.2524 ได้ตรวจพื้นที่และสัมภาษณ์ราษฎรในบริเวณหมู่บ้านรอบอำเภอเชียงคาน รวมทั้งในไร่ใกล้เคียงและเดินทางต่อไปจนถึงบ้านกลาง ตำบลปากตม ได้มีราษฎรมอบก้อนหินสะเก็ดอุกกาบาตและชี้แจงรายละเอียดของปรากฏการณ์เพิ่มเติม สังเกตเห็นว่าในบริเวณที่มีชิ้นอุกกาบาตตกกระจัดกระจายนั้น มีขอบเขตตั้งแต่ตัวอำเภอเชียงคานลงมาถึงเขตบ้านกลาง ซึ่งอยู่ทางทิศตะวันตกเฉียงใต้ ประมาณเป็นพื้นที่มากกว่า 24 ตารางกิโลเมตร ก้อนอุกกาบาตซึ่งรวบรวมได้เป็นจำนวน 31 ชิ้น ชิ้นที่ใหญ่ที่สุดหนัก 51.3 กรัม ชิ้นเล็กที่สุดหนัก 0.2 กรัม รวมเป็นน้ำหนักทั้งสิ้น 367 กรัม ชิ้นอุกกาบาตที่รวบรวมได้มีขนาดเฉลี่ย 2 ซ.ม. คล้ายก้อนหินบนพื้นโลก แต่ผิวนอกมีสีดำเพราะถูกเผาด้วยความร้อนขนาดสูงมากโดยเสียดสีกับบรรยากาศของโลกขณะเมื่อมันตกลงมา ส่วนใหญ่มีรูปร่างรีขอบมน เพราะขณะผิวนอกหลอมละลาย พุ่งผ่านอากาศ ลักษณะภายในก้อนเป็นเนื้อหินสีเทาอ่อน มีเม็ดแร่กลม และผลึกแร่ สีเหลืองอ่อน ขาวใส และสีเทา มีโลหะผสมแทรกอยู่กระจัดกระจายโดยทั่วไป ในเนื้อมีรูพรุน ซึ่งอาจเกิดจากฟองก๊าซบางชนิดกระจายอยู่ด้วย ตัวอย่างบางชิ้นมีรูพรุนแทรกอยู่มากจนทำให้มีความหนาแน่นน้อยกว่าก้อนอื่น และมีน้ำหนักเบามาก ผิวนอกของก้อนซึ่งไหม้ดำแสดงรอยเยิ้มของหินหลอมละลายเป็นทางแสดงการปะทะของอากาศที่อุกกาบาตวิ่งผ่าน ผิวดำนั้นเป็นแก้วธรรมชาติที่เกิดจากการหลอมละลายเคลือบรอบก้อนเป็นชั้นหนาประมาณ 2-3 มิลลิเมตร มีแก้วธรรมชาติสีดำอยู่ในเนื้อของตัวอย่างบางก้อนแต่ไม่มากนัก นอกจากนี้ก้อนอุกกาบาตยังมีรอยแตกร้าวที่ผิวเห็นได้ชัดเจน ทั้งนี้เนื่องจากหดตัวเองขณะที่อุณหภูมิลดลงอย่างรวดเร็วนั่นเอง จากการวิเคราะห์ปรากฏผลว่า อุกกาบาตนี้มีความหนาแน่น 3.6 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร เป็นวัตถุธรรมชาติและไม่มีกัมมันตภาพรังสีที่จะเป็นอันตรายต่อมนุษย์และสิ่งมีชีวิตอื่น มีส่วนประกอบของธาตุ เหล็ก นิเกิล และ แคลเซียม มีแร่โลหะเหล็กผสมนิเกิลปนอยู่ไม่เกิน 20 % โดยปริมาตร เป็นอุกกาบาตเนื้อหิน ชนิดชื่อว่า โอลีวีน บรอนไซท์ คอนไดรท์ (olivine bronzite chondrite) ชนิดเกรด H6 (เป็นพวกมีแร่เหล็กมาก) เป็นอุกกาบาตชนิดที่พบบ่อย คณะสำรวจได้ทำแผนที่บริเวณที่เก็บชิ้นส่วนอุกกาบาตได้และวินิจฉัยได้ว่า แนวทางที่ชิ้นส่วนอุกกาบาตลงมาถึงโลกมีเส้นแกนยาวทำมุมเพียง 13 องศา ไปทางตะวันออก กับเส้นแนวเหนือใต้บนพื้นผิวโลก นับว่าแตกต่างจากอุกกาบาตอื่นโดยทั่วไป ซึ่งมักจะอยู่ในแนวตะวันออก-ตะวันตก คำตอบต่อคำถามที่ว่า

อุกกาบาตนี้เป็นอะไรมาจากไหน ขึ้นอยู่กับทิศทางที่อุกกาบาตพุ่งเข้ามาสู่โลก ซึ่งในขณะนี้ยังไม่สามารถรวบรวมสังเกตการณ์ที่แม่นยำเชื่อถือได้มากพอเพียงที่จะทำให้กำหนดอย่างแน่นอนชัด - เจนได้ ทั้งนี้เพราะการเคลื่อนที่ของลูกไฟอุกกาบาตไปบนท้องฟ้าเหนือประเทศไทย ใช้เวลาสั้นมากไม่ถึง 20 วินาที ผู้ได้เห็นเหตุการณ์ไม่ทันเตรียมตัว อย่างไรก็ตามจากปากคำที่รวบรวมได้สรุปวินิจฉัยได้สองสมมติฐาน คือ

สมมติฐานที่ 1 อุกกาบาตนี้ เป็นก้อนเดียวล่องลอยมาโดยลำพังจากวงทางเดินของดาวเคราะห์น้อย และพุ่งเข้าสู่โลกในทิศทางเกือบขนานกับพื้นดิน ผู้สังเกตการณ์ที่เชื่อถือได้ที่กรุงเทพฯ ผู้หนึ่ง (คือ ดร.พิศิษฐ์ รัตนวรารักษ์ ภาควิชาฟิสิกส์) เห็นว่า อุกกาบาตปรากฏเป็นดวงสว่างเมื่อมันอยู่ในทิศทำมุม 50 องศากับพื้นดินทางเหนือและเคลื่อนตัวลงในแนวดิ่งสู่ขอบฟ้า มีขนาดโตประมาณเท่าดวงจันทร์ เรามีความรู้ว่า อุกกาบาตจะเริ่มไหม้สว่างเพราะเสียดสีกับบรรยากาศที่ความสูงจากพื้นดินประมาณ 100 กิโลเมตร จากนี้จะคำนวณได้ว่าดวงสว่างนั้นจะต้องมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1140 เมตร ซึ่งถ้าถือว่าเป็นทั้งก้อนอุกกาบาต ซึ่งมีความหนาแน่น 3.6 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร จะคำนวณได้ว่ามันต้องหนักราวสามพันล้านตันซึ่งเป็นขนาดใหญ่มหาศาลเกินที่จะเป็นจริงได้ จากชิ้นอุกกาบาตที่เก็บได้ 367 กรัม ถ้ากะประมาณว่าเป็นเศษหนึ่งส่วนพันของที่ตกลงมาบนโลก ซึ่งจะเป็นประมาณ 367 กิโลกรัม เมื่อกำหนดว่า อุกกาบาตไหม้ในอากาศเสีย 90 % ตามความรู้ทางอุกกาบาตที่มีอยู่แล้วจะคำนวณได้ว่า ก้อนอุกกาบาตก่อนเข้ามายังโลกอาจมีขนาด 3670 กิโลกรัม หรือราว 3 ตันครึ่งเท่านั้น ดังนั้นสิ่งที่ผู้สังเกตการณ์เห็นไม่น่าจะมีแนวทางเหนือได้

สมมติฐานที่ 2 อุกกาบาตนี้ เคลื่อนที่เข้าสู่โลกในทิศทางเกือบเป็นแนวดิ่งและเป็นส่วนหนึ่งของกระแสธารอุกกาบาต ซึ่งเกิดจากดาวหางดวงหนึ่งที่ชื่อ เทมเปล มีวงโคจรตัดกับวงทางโคจรของโลก เคยมาปรากฏให้เห็นตั้งแต่ พ.ศ. 2409 แล้วไม่มีใครเห็นอีก เข้าใจว่าสลายตัวไปแล้ว แต่อุกกาบาตซึ่งเป็นชิ้นส่วนสลายตัวของดาวหางนี้ยังคงโคจรรอบดวงอาทิตย์อยู่เป็นสายธารของอนุภาคในอวกาศ โลกของเราจะโคจรผ่านสายธารอุกกาบาตนี้ทุกปีระหว่างวันที่ 11-20 พฤศจิกายน ซึ่งจะมีฝนอุกกาบาตเป็นดาวตกปรากฏแวบวาบบนท้องฟ้ามากเป็นพิเศษ ในคืนวันที่ 16 และเช้ามืดวันที่ 17 พฤศจิกายน นี้เป็นช่วงเวลาที่อุกกาบาตควรมีความหนาแน่นเป็นพิเศษก็เกิดปรากฏการณ์ลูกไฟอุกกาบาตใหญ่นี้ขึ้น นอกจากนี้จากสังเกตการณ์กำหนดได้ว่าลูกไฟอุกกาบาตเคลื่อนที่บนท้องฟ้าคล้ายกับว่ามาจากทิศทางเดียวกับที่สายธารอุกกาบาตจะ

พุ่งมาสู่โลก ดังนั้น มันอาจมากับสายธารอุกกาบาตซึ่งมีชื่อว่า ลีรอนิคส์ นี้ได้ ซึ่งถ้าเป็นเช่นนั้น มันก็เป็นส่วนหนึ่งของดาวหางเทมเปล ซึ่งสลายตัวไปแล้ว ถ้าเป็นดังกรณีนี้ก็หมายความว่า มันปรากฏให้เห็นเป็นดวงโตเท่าดวงจันทร์เมื่ออยู่ห่างโลก 1100 กิโลเมตร คืออยู่นอกบรรยากาศโลก และมีขนาดใหญ่ถึง 9 กิโลเมตร ซึ่งหมายความว่า มันต้องเป็นฝุ่นและก๊าซที่กระจายออกมาจากจุดใจกลางขนาดเล็กและถูกแสงอาทิตย์ฉายสาดให้เห็นเป็นดวงสว่างจ้า ในลักษณะเป็นเช่นเดียวกับใจกลางหัวของดาวหาง คือ เป็นก้อนวัตถุซึ่งมีทั้งก้อนอุกกาบาตน้ำแข็ง ก๊าซแข็งเกาะรวมกันอยู่เป็นก้อนถูกแสงอาทิตย์สาดส่องให้ละลายระเหยออกมาเป็นกลุ่มฝุ่นไอน้ำและก๊าซห่อหุ้ม

สรุปและวิจารณ์ได้ว่า ไม่ว่าอุกกาบาตจะเข้ามากับสายธารอุกกาบาตตามสมมติฐานที่ 2 หรือล่องลอยมาโดดเดี่ยวตามสมมติฐานที่ 1 มันต้องประกอบด้วยก๊าซและน้ำแข็งก๊าซแข็งเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งระเหยห่อหุ้มมันให้เห็นเป็นดวงขนาดใหญ่บนท้องฟ้า ต่อเมื่อมันพุ่งเข้าชนและเสียดสีกับบรรยากาศโลก ก๊าซและก๊าซแข็งจะระเหยหายไปหมด เหลือแต่ส่วนซึ่งเป็นก้อนหินเท่านั้นที่ตกลงถึงพื้นดิน นอกจากนี้อาจเป็นไปได้ว่า อุกกาบาตนี้ไม่จำเป็นต้องมีก้อนหินแข็งก้อนเดียวที่มาแตกออกในบรรยากาศของโลก มันอาจเป็นก้อนเล็กก้อนน้อยจำนวนมากซึ่งฝังตัวอยู่ในน้ำแข็งและก๊าซแข็งเกาะกันเป็นกลุ่มก้อนวิ่งเข้ามา ทั้งนี้ ชิ้นอุกกาบาตบางชิ้นมีผิวไหม้ดำโดยรอบทั้งก้อน แสดงว่ามันวิ่งผ่านบรรยากาศในสภาพชิ้นเล็กๆ ซึ่งหมายความว่าอุกกาบาตวิ่งผ่านบรรยากาศเป็นกลุ่มตั้งแต่ในระยะสูง และบางก้อนใหญ่เท่านั้นที่มาแตกใกล้พื้นดิน มีผู้เห็นเหตุการณ์รายงานยืนยันตรงกันว่า ได้เห็นอุกกาบาตในลักษณะที่เป็นลูกไฟใหญ่ที่มีลูกไฟบริวารจำนวนมากห้อมล้อมตามมาเป็นขบวนหรือเป็นหาง นอกจากนั้น มีบางรายงานกล่าวว่า มีมากกว่าหนึ่งกลุ่มด้วย แต่ไม่มีการยืนยันชัดเจน อย่างไรก็ตามเป็นข้อสนับสนุนแนวคิดข้างบนที่ว่า อุกกาบาตมาเป็นกลุ่มไม่ใช่ก้อนเดียว อนึ่งผู้เห็นเหตุการณ์ที่บ้านกลาง ซึ่งอยู่ทางใต้เยื้องตะวันตกของอำเภอเชียงคานลงมาประมาณ 10 กิโลเมตร แจ้งว่าเห็นอุกกาบาตเป็นดวงกลมลอยขึ้นมาจากทิวเขาด้านใต้ แล้วลอยข้ามฟ้าลับหายไปทางขอบฟ้าด้านเหนือ ขณะผ่านกลางฟ้ามี "หาง" ยาวซึ่งน่าจะหมายความถึงกลุ่มบริวารห้อมล้อมตามกันมาด้วย สังเกตการณ์นี้ยังไม่ได้รับการยืนยันจากผู้สังเกตการณ์อื่น ถ้าถูกต้องก็สนับสนุนสมมติฐานแรก และค้านสมมติฐานที่สอง กรมอุตุนิยมวิทยาแจ้งว่าระหว่างเวลา 05.28 น. ถึง 05.32 น. ของวันที่ 17 พฤศจิกายน พ.ศ.2524 ไม่มีการกระเทือนบนพื้นดินตามรายงานของสถานีตรวจวัดคลื่นแผ่นดินไหวที่เชียงใหม่ แสดงว่า

ไม่มีอุกกาบาตลูกใหญ่ตกกระทบพื้นโลก ดังนั้น ที่ตกถึงพื้นโลกอาจเป็นเพียงก้อนเล็กเช่นที่รวบรวมได้ ข้อนี้เป็นการสนับสนุนแนวคิดข้างบนที่ว่า อุกกาบาตเชียงคานนี้ประกอบด้วยชิ้นส่วนขนาดเล็ก หรือมิฉะนั้นมันก็ได้ระเบิดแตกละเอียดกลางอากาศก่อนถึงพื้นดิน

ยังไม่เคยปรากฏว่าอุกกาบาตตกโดนคนตายเลย มีแต่รายงานต่างๆ กันที่เกือบทำให้ถึงตายบ้าง เมื่อวันที่ 29 กันยายน พ.ศ. 2481 มีอุกกาบาตตกทะลุหลังคาโรงรถ และทะลุหลังคารถลงไปอยู่ที่เบาะนั่งในรถของหญิงชาวเมืองหนึ่งในมลรัฐอิลลินอยส์ เมื่อปี พ.ศ. 2497 ก็มีรายงานว่าหญิงคนหนึ่งในมลรัฐอลาบามา ถูกอุกกาบาตตกชนบาดเจ็บ นับว่าเป็นรายล่าสุด

ประมาณกันว่า ในแต่ละศตวรรษจะมีอุกกาบาตหลายลูกตกเข้ามาชนโลกด้วยแรงมากพอที่จะทำให้เกิดหลุมหรือแอ่งอุกกาบาตลึกกว้างกว่า 10 เมตร การที่จะก่อให้เกิดหลุมลึกกว้างขนาดนี้ได้อุกกาบาตต้องมีขนาดใหญ่หนักราว 2 ตันขึ้นไป วัตถุหนักขนาดนี้ต้องมีเส้นผ่าศูนย์กลางครึ่งเมตร และ อาจถ่ายรูปด้วยกล้องโทรทรรศน์ให้เห็นได้เมื่อมันอยู่ห่างโลกสักราวดวงจันทร์ และจะมีลักษณะผิดไปจากดาวเคราะห์น้อยก็เพียงแต่ขนาดเท่านั้น อุกกาบาตขนาดใหญ่จะก่อให้เกิดหลุมใหญ่โตกว่าขนาดของมันเอง เมื่อมันกระทบพื้นดิน พลังงานจลน์ของมันจะเปลี่ยนรูปไปเป็นแรงระเบิดอย่างรุนแรง

หลุมอุกกาบาตแห่งแรกที่ค้นพบ และรู้กันแน่นอนว่าเกิดจากอุกกาบาตจริง ก็คือ หลุมอุกกาบาตแบริงเจอร์ (Barringer Meteorite Crater) อยู่ใกล้เมือง Winslow แห่งมลรัฐอริโซนาในสหรัฐอเมริกา หลุมรูปร่างกลมๆ นี้พิสูจน์ได้ว่าเกิดจากอุกกาบาตตกเข้ามาชนก็ด้วยการวิจัยสอบสวนซึ่งตระกูลแบริงเจอร์(เจ้าของที่ดิน) เป็นผู้สนับสนุนเมื่อต้นศตวรรษที่ 20 นี้ หลุมมีขอบรูปถ้วยแห่งนี้กว้าง 1300 เมตร ลึก 180 เมตร มีขอบปากหลุมสูงกว่าระดับพื้นที่โดยรอบถึงเกือบ 45 เมตร ทั่วบริเวณโดยรอบพบเศษวัตถุอุกกาบาตเหล็กมากกว่า 25 ตัน บางชิ้นก็จมอยู่ในดินใกล้ๆ ส่วนใหญ่กระจายออกไปไกลจากหลุมถึง 7 กิโลเมตรเศษ เศษอุกกาบาตเหล็กขนาดใหญ่ๆ ยังพอขุดหาได้ในบริเวณรอบๆ หลุมอุกกาบาตนี้ เคยมีการเจาะพื้นที่ในหลุมอุกกาบาตนี้เพื่อสำรวจหาอุกกาบาตชิ้นใหญ่ซึ่งเข้าใจว่าจะฝังอยู่ แต่ก็ไม่เคยพบอะไร อุกกาบาตแห่งนี้คงระเบิดตัวเองแตกกระจายเป็นชิ้นเล็กชิ้นน้อย ก่อให้เกิด หลุมอุกกาบาตขนาดใหญ่นี้ขึ้น อายุของหลุมแห่งนี้ประมาณกันไว้ว่าเกิดเมื่อราว 22000 ปีมาแล้ว

มีหลุมอุกกาบาตใหญ่อีกแห่งหนึ่ง อยู่ใน Quebec ชื่อว่า New Quebec Crater ในประเทศแคนาดา (ก่อนนี้เรียกว่า Chubb Crater) ค้นพบเมื่อ พ.ศ. 2493 จากภาพถ่ายทางอากาศของบริเวณนั้น รูปร่างคล้ายหลุมอุกกาบาตแบริงเจอร์ แต่ใหญ่กว่าราวสองเท่า เส้นผ่าศูนย์กลางยาวกว่า 3 กิโลเมตร ปัจจุบันนี้ มีน้ำขังเต็ม กลายเป็นทะเลสาบที่มีพื้นเบื้องล่างเป็นหินแกรนิต ไม่ปรากฏพบร่องรอยของลูกอุกกาบาตใดๆ ในบริเวณนั้น แต่ก็เชื่อแน่เหลือเกินว่าหลุมนี้เกิดจากอุกกาบาตจริง

ในประเทศแอลจีเรีย ก็มีอ่างปากกลมอยู่แห่งหนึ่ง มีเส้นผ่าศูนย์กลางราว 2 กิโลเมตร รูปร่างคล้ายหลุมอุกกาบาต แต่ก็ไม่เคยพบเห็นเศษอุกกาบาตใดๆ ในบริเวณทั้งไม่ปรากฏหลักฐานใดว่าจะเกิดจากกระบวนการทางภูเขาไฟเหมือนกัน ทั่วโลกยังมีอ่างปากกลมกว่า 12 แห่ง ที่เชื่อว่าเกิดจากอุกกาบาต หลุมอุกกาบาตที่เกิดมีมานานกว่า 2-3 หมื่นปีขึ้นไป จะต้องถูกแรงธรรมชาติกัดกร่อนทำลายไปหมดแล้ว

อุกกาบาตขนาดเล็กๆ มากมายตกชนโลกอยู่ทุกวัน ที่มีขนาดเล็กกว่า 2-3 ไมครอนนั้น เมื่อกระทบกับอากาศจะเคลื่อนที่ช้าลงมากจนไม่พอที่จะร้อนขึ้น และในที่สุดจะตกถึงพื้นโลก อุกกาบาตขนาดเล็กเกินกว่าที่จะก่อให้เกิดแสงเรือง เรียกว่า **จุลอุกกาบาต (micro - meteorites)** มีหลักฐานที่สนับสนุนให้เชื่อว่ามีอุกกาบาตขนาดเล็ก 2 ประการ คือ

1. มีอนุภาควัตถุขนาดเล็กมากมาย ซึ่งมีส่วนประกอบส่วนใหญ่เป็นเหล็ก และมีซิลิคอน แมกเนเซียม สามารถเก็บได้จากพื้นดิน หลังคาบ้าน จากน้ำฝน และแม้จากใต้ก้นมหาสมุทร แต่ความจริงยังไม่มีการพิสูจน์ได้ว่าวัตถุเหล่านี้เป็นวัตถุอุกกาบาตขนาดเล็ก มันอาจเป็นจุลอุกกาบาตก็ได้

2. มีการตรวจพบในยานอวกาศว่ามี อนุภาควัตถุขนาดเล็กๆ มากระทบยาน ซึ่งมีอุปกรณ์พิเศษ ประกอบด้วย ไมโครโฟน และเครื่องตรวจสอบ micrometeoroids อย่างอื่น วัตถุเหล่านั้นต้องเป็นพวกอุกกาบาตแน่ เพราะพบในอวกาศ

ในอวกาศรอบๆ โลก คงมีอุกกาบาตขนาดเล็กจำนวนราว 10 ถึงหลายร้อยชิ้นต่อลูกบาศก์กิโลเมตร แต่ที่ประมาณไว้นี้ไม่แน่นัก ปีหนึ่งๆ โลกได้รับจุลอุกกาบาตเพิ่มเข้ามาประมาณ 10,000 ตัน เราได้เห็นแล้วว่า อวกาศระหว่างดาวเคราะห์ทั้งปวงนั้น เต็มไปด้วยจุลอุกกาบาตมากมาย อนุภาควัตถุธาตุพวกนี้ประกอบด้วย ธุลีระหว่างดาวเคราะห์ (inter-

planetary dust) กระจายอยู่ตามที่ว่างทั่วไป จุลอุกกาบาตมีเส้นผ่าศูนย์กลางยาวไม่กี่ไมครอน ที่มีขนาดเล็กกว่า 1 ไมครอน จะถูกเป่าออกกไปจากระบบสุริยะด้วยแรงดันแห่งการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์ ทำนองเดียวกับอนุภาคขนาดเล็กถูกเป่าออกไปจากดาวหาง ในรูปของหางดาวหางนั่นเอง ส่วนอนุภาคขนาดจุลอุกกาบาตจะไม่ถูกเป่าออกไป หากแต่จะโคจรอยู่รอบๆ ดวงอาทิตย์ราวกับดาวเคราะห์ขนาดจิ๋ว ซึ่งความจริงก็เป็นอย่างนั้น วงโคจรของมันจะค่อยๆ เล็กลง และก็ค่อยๆ วนเข้าหาดวงอาทิตย์เพราะแรงดึงดูดรบกวนที่เรียกว่า **Poynting - Robertson Effect**

สำหรับอนุภาคขนาดจุลอุกกาบาตนั้น แรงดึงดูดแกรวิเตชันของดวงอาทิตย์ มีค่ามากกว่าแรงผลักอันเนื่องมาจากความกดดันแห่งการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ ดังนั้น จุลอุกกาบาตจึงโคจรไปรอบๆ ดวงอาทิตย์อย่างเดียวกับดาวเคราะห์ และมีทางโคจรเป็นไปตาม กฎของเคปเลอร์ด้วย ถ้าแรงจากความกดดันแห่งการแผ่รังสีกระทำต่ออนุภาคอย่างนี้มีทิศทางในแนวรัศมี คือตรงออกไปจากดวงอาทิตย์แล้ว ผลที่เกิดขึ้นก็คือ จะลดแรงดึงดูดของดวงอาทิตย์ลงเล็กน้อย แล้วทำให้คาบการโคจรของอนุภาคยาวนานขึ้นอีกเล็กน้อย แต่ทว่าทิศทางแห่งแรงกดดันของการแผ่รังสี จะไม่เป็นไปในแนวรัศมีทีเดียวนัก หากแต่มีองค์ประกอบของแรงขนาดเล็กโดยมีทิศไปในทางตรงกันข้ามกับทิศทางการโคจรของอนุภาคนั้น

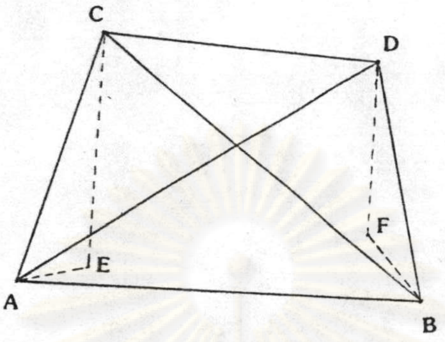
สมมติว่า เราวิ่งฝ่าฝนทั้งๆ ที่เม็ดฝนก็ตกลงมาในแนวดิ่งตรงๆ จะปรากฏว่าเม็ดฝนกระทบทางด้านหน้าเราในแนวเฉียงๆ เพราะ เม็ดฝนนั้นเมื่อเปรียบเทียบกับตัวเราแล้วมีองค์ประกอบแห่งการเคลื่อนที่ในแนวนอนอยู่ด้วยขนาดหนึ่ง คือ เป็นความเร็วขนาดหนึ่งที่มีทิศทางตรงกันข้าม และเท่ากับความเร็วของเราโดยเทียบกับพื้นโลก ทำนองเดียวกัน วัตถุที่โคจรรอบดวงอาทิตย์ โฟตอนจากดวงอาทิตย์ใช่ว่าจะมาจากทิศทางในแนวรัศมีจากดวงอาทิตย์ตรงๆ หากแต่ว่ามีองค์ประกอบ ของความเร็วขนาดเล็กน้อย ไปในทิศทางตรงกันข้ามกับ ทิศทางการเคลื่อนที่ของวัตถุ ด้วยเหตุนี้ ความดันเนื่องจากการแผ่รังสีจึงทำให้เกิดมี "แรงดันกลับ" กระทำต่อวัตถุอยู่หน่อยหนึ่ง แรงเนื่องจากความดันแห่งการแผ่รังสีนี้ สำหรับอนุภาคขนาดใหญ่ เช่น ดาวเคราะห์ มีผลเล็กน้อยมาก แต่สำหรับอนุภาคขนาดเล็กๆ เช่น จุลอุกกาบาตแล้วแรงเช่นว่านี้มีผลต่ออนุภาคมากทีเดียว "แรงดันกลับ" ที่ว่านี้ก็เป็นเหมือน "แรงหน่วง" การโคจรในวงโคจรของอนุภาคตอนแรกจะทำให้วงโคจรค่อยๆ กลมเข้าๆ ต่อไปก็ค่อยๆ ทำให้วงโคจร

มีขนาดเล็กลงจนกระทั่งหมุนวนเข้าสู่ดวงอาทิตย์ในที่สุด อนุภาคขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 มิลลิเมตร ที่มีกำเนิดในเขตดาวเคราะห์น้อย (ระหว่างวงโคจรของดาวอังคาร และดาวพฤหัส) จะโคจรวนเข้าหาดวงอาทิตย์ ในเวลาเพียง 60 ล้านปี แม้อนุภาคใหญ่ขนาด 10 มิลลิเมตร ในระยะขนาดจากโลกถึงดวงอาทิตย์ นี้ จะค่อยๆ โคจรวนเข้าหาดวงอาทิตย์ ในเวลาไม่ถึง 1000 ล้านปี การที่เราพบว่ามีอนุภาคขนาดเล็กๆ อยู่โดยรอบโลก ก็เป็นหลักฐานแสดงว่ามันเพิ่งก่อเกิดขึ้น หรือไม่ก็เพิ่งโคจรเข้ามาถึงบริเวณโลกเราในระบบสุริยะนี้ J.H.Poynting เป็นคนแรกที่สนใจศึกษาปรากฏการณ์เรื่องนี้เมื่อปี พ.ศ.2446 ต่อมาในปี พ.ศ.2480 H.P. Robertson ก็ยืนยันปรากฏการณ์นี้โดยได้ประยุกต์ทฤษฎีสัมพัทธภาพ เข้ามาอธิบายอย่างจริงจัง ปรากฏการณ์นี้จึงได้ชื่อว่า Poynting - Robertson Effect

<u>ความสูงและความเร็วของอุกกาบาต</u>

การคำนวณหาเส้นทางเดินของอุกกาบาตที่ปรากฏสว่างวาบในบรรยากาศนั้น กระทำได้โดยใช้วิธีของรูปสามเหลี่ยม มีสถานีตรวจอุกกาบาตสองแห่งห่างกันราว 30 กิโลเมตร ไกลพอที่จะใช้ระยะทางนี้เป็นเส้นฐานของรูปสามเหลี่ยมได้ดี และใกล้พอที่ทั้งสองสถานีจะเห็นอุกกาบาตดวงเดียวกันได้พร้อมๆ กัน โดยมีดาวฤกษ์เป็นแบคกราวน์ เมื่อนำเอาภาพทั้งสองมาเทียบเคียงกัน โดยสังเกตพารัลแลกซ์(parallax) ที่ทำให้อุกกาบาตปรากฏอยู่ต่างตำแหน่งกัน แล้วก็อาจคิดหา **ความสูง (Height)** ของเส้นทางเดินอุกกาบาตนั้นๆได้ จากผลการตรวจสอบนี้พบว่าอุกกาบาตเริ่มปรากฏเป็นแสงสว่างที่ระดับสูงราว 100 กิโลเมตร และพวกที่สว่างมากนั้นจะลงมาถึงระดับ 55 กิโลเมตร หรือต่ำกว่านั้นอีก พวกที่ค่อนข้างจางจะหรี่แสงหายไปในระดับประมาณ 80 กิโลเมตร ในระดับสูงกว่า 100 กิโลเมตร นั้นบรรยากาศมีความหนาแน่นไม่พอที่จะเสียดสีให้วัตถุร้อนจนลุกเป็นไฟได้ อุกกาบาตที่มีแสงจ้ามาก คือ พวกที่มีมวลมากและจะใช้เวลานานกว่าที่เนื้อสารของมันจะกลายเป็นไอหมดไป มีไม่น้อยที่เฉียดผ่านบรรยากาศเข้ามาและหลุดออกไปภายนอกก่อนที่มันจะไหม้หมดไป ใน**รูปที่ 2.3** อธิบายการหาความสูงของอุกกาบาต ในทางทฤษฎี ความสูง (H) ของอุกกาบาตขึ้นกับพารามิเตอร์พื้นฐาน 3 ตัวหลักคือ มวลเริ่มต้นของมัน ($m_\infty$), ความเร็วเริ่มต้น ($v_\infty$) และ ความเอียงของเส้นทางที่ทำกับแนวดิ่ง (z) เนื่องจาก เราไม่สามารถหามวลเริ่มต้น ($m_\infty$)ได้โดยตรง เราจึงจะพิจารณาแมกนิจูดสัมบูรณ์ของอุกกาบาต (M) ซึ่งเป็นฟังชันของ $m_\infty$ , $v_\infty$ และ z แทน

รูปที่ 2.3 การหาความสูงของอุกกาบาตดวงหนึ่ง โดยผู้สังเกตอยู่ที่ A และ B แต่ละคนหาทิศทางของจุดเริ่มต้นและจุดสุดท้ายของเส้นทางอุกกาบาต (CD) จากข้อมูลเหล่านี้ใช้ร่วมกับสามเหลี่ยม ก็จะหาความสูง CE และ DF ได้




ในตารางที่ 2.5 แสดงความสูงเฉลี่ยของเส้นทางอุกกาบาตที่มีแมกนิจูดวิชวล +3

ตารางที่ 2.5 ความสูงเฉลี่ยของเส้นทางอุกกาบาตที่มีแมกนิจูดวิชวล +3

| Velocity (km/s) | Beginning Height (km) | Height at Maximum Light (km) | End Height (km) |
|---|---|---|---|
| 10 | 80 | 75 | 70 |
| 20 | 91 | 86 | 80 |
| 30 | 96 | 91 | 86 |
| 40 | 101 | 95 | 90 |
| 50 | 104 | 99 | 94 |
| 60 | 108 | 102 | 97 |
| 70 | 110 | 105 | 100 |

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ความเร็วของอุกกาบาตเป็นสิ่งจำเป็นในการนำไปประมาณหามวลอุกกาบาต และคำนวณหาวงโคจรของอุกกาบาตได้ ในปัจจุบันการหาอัตราเร็วของอุกกาบาตมี 3 วิธี คือ

1. คำนวณหาอัตราเร็วเฉลี่ยโดยเอาความยาวของเส้นทางที่ถ่ายภาพได้ หารด้วยช่วงเวลาที่อุกกาบาตปรากฏเคลื่อนที่

2. ใช้กล้องถ่ายภาพพิเศษ ซึ่งมีเครื่องตัดแสงหน้ากล้อง เป็นระยะสม่ำเสมอแต่รวดเร็ว มีผลทำให้เส้นทางเดินของอุกกาบาตในฟิล์ม ถูกตัดขาดเป็นห้วงๆ แต่ละตอนมีเวลาเท่าๆ กัน จากภาพที่ได้นี้ เอาไปคำนวณหาความเร็วของอุกกาบาตนั้นได้อย่างละเอียด

3. วิธีการตรวจหาอุกกาบาตแบบใหม่โดยใช้คลื่นวิทยุ วิธีนี้อาศัยหลักที่ว่าขณะเมื่ออุกกาบาตวิ่งเข้ามากลายเป็นไอในบรรยากาศนั้น พลังงานส่วนหนึ่งของมันได้ทำให้อะตอมของธาตุในบรรยากาศแตกตัวเป็นอิออนเป็นจำนวนมาก ดังนั้นบนเส้นทางซึ่งอุกกาบาตผ่านไปแล้วนั้นก็จะมีอิออนลอยอยู่เป็นกลุ่มและจะค่อยๆ ถูกกระแสอากาศพัดกระจัดกระจายไปในภายหลัง หรือบางส่วนก็จะรวมตัวกลับเข้ามาเป็นอะตอมปกติอย่างเดิม แต่ในขณะที่อิออนยังปรากฏหนาแน่นอยู่เป็นเส้นหมอกนั้นมันมีคุณสมบัติสะท้อนคลื่นวิทยุได้ดี ดังนั้นนักดาราศาสตร์จึงใช้วิธีการแบบเรดาร์ คือ ส่งคลื่นวิทยุขึ้นไปสะท้อนที่กลุ่มอิออนนี้ แล้วตรวจลักษณะของคลื่นที่สะท้อนกลับลงมา ก็จะอนุมานกลับไปถึงแนวทางและอัตราเร็วของอุกกาบาต ซึ่งทำให้เกิดแนวอิออนนั้นๆ วิธีใช้คลื่นวิทยุนี้สะดวกกว่าวิธีใช้กล้อง หรือภาพถ่าย และ เป็นวิธีที่ทำได้ตลอดเวลาไม่ว่าจะเป็นเวลากลางวันหรือกลางคืน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ในทางปฏิบัติ เมื่อเราถ่ายรูปอุกกาบาต เราก็จะหาอัตราเร็วปรากฏของอุกกาบาตที่เราสังเกตได้ด้วยตาเปล่า ซึ่งเป็น **ความเร็วปรากฏของอุกกาบาตเมื่ออยู่ในบรรยากาศของโลกเทียบกับผู้สังเกตบนโลก ($v_o$)** แล้วเราก็จะหาค่าต่างๆ ได้ดังนี้

**ความเร็วปรากฏของอุกกาบาตนอกบรรยากาศโลกเทียบกับผู้สังเกตบนโลกก่อนที่จะ-เข้ามาสู่บรรยากาศโลก ($v_\infty$)** จะมีค่าเป็น

$$v_\infty = v_o + \boxtimes \qquad (2.5)$$

เมื่อ ๘ เป็น ความเร็วเนื่องจากแรงเสียดทานของอากาศ ซึ่งขึ้นกับ มวล และความหนาแน่นของอุกกาบาต ความสูงขณะที่วัดความเร็ว $v_o$ และค่า $v_o$ จากการทดลองพบว่า ค่า ๘ มีค่าตั้งแต่ 1.0 km/s สำหรับอุกกาบาตที่เคลื่อนที่ช้า ไปจนถึงมีค่า 0.5 km/s สำหรับอุกกาบาตที่เคลื่อนที่เร็ว ค่าความเร่งที่ลดลงอยู่ในช่วง 2-5 $km/s^2$ โดยไม่ขึ้นกับความเร็วใดๆ

เนื่องจาก โลกมีการหมุนรอบตัวเองครบรอบใช้เวลา 24 ชั่วโมง ดังนั้น จึงต้องหักความเร็วจากการหมุนของผู้สังเกตบนโลกที่ละติจูด l ซึ่งมีค่า

$$v_{obs} = \frac{2\pi R_\oplus \cos l}{24^h}$$ เมื่อ $R_\oplus$ เป็นรัศมีโลก

ดังนั้น **ความเร็วปรากฏของอุกกาบาตเมื่ออยู่นอกบรรยากาศโลกเทียบกับจุดศูนย์กลางโลกแต่ยังอยู่ในสนามแรงโน้มถ่วงโลก ($\vec{v}_a$)** มีค่า

$$\vec{v}_a = \vec{v}_\infty - \vec{v}_{obs} \qquad (2.6)$$

นอกจากนี้ยังนำผลเนื่องมาจากแรงดึงดูดของโลกนำมาคิดด้วย โดยที่ความเร็วหลุดพ้นของอุกกาบาตที่จะหนีหลุดออกจากโลก (v) มีค่า

$$v = \sqrt{\frac{2GM_\oplus}{R_\oplus}} \approx 11.2 \text{ km/s}$$

โดยที่ G = ค่าคงที่ของแรงโน้มถ่วง , $M_\oplus$ = มวลของโลก , $R_\oplus$ = รัศมีโลก

ดังนั้น **ความเร็วของอุกกาบาตเทียบกับจุดศูนย์กลางโลกเมื่ออยู่นอกสนามแรงโน้มถ่วงโลก ($v_G$)** เป็น

$$v_G^2 = v_a^2 - v^2 = v_a^2 - \frac{2GM_\oplus}{R_\oplus}$$

$$= \left(v_\infty - \frac{2R_\oplus \cos l}{24^h}\right)^2 - \frac{2GM_\oplus}{R_\oplus} \qquad (2.7)$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เมื่อนำ ความเร็ว $\vec{v}_G$ กับ ความเร็วของวงโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์ ($\vec{v}_E \approx$ 30 km/s) มารวมกันแบบเวคเตอร์แล้วจะได้ **ความเร็วที่แท้จริงของอุกกาบาตที่เคลื่อนที่เทียบกับดวงอาทิตย์ ( heliocentric velocity ; $\vec{v}_H$ )** เป็น

$$\vec{v}_H = \vec{v}_G + \vec{v}_E \qquad (2.8)$$

ณ ที่แห่งใดแห่งหนึ่งนั้น จะเห็นอุกกาบาตดวงใหญ่ๆ ได้ยาก นักดาราศาสตร์จำเป็นต้องรับฟังข้อมูลที่ผู้คนธรรมดาสังเกตเห็นและเล่าให้ฟัง เพื่อนำมาวิเคราะห์ทางโคจรของมันในบรรยากาศ อุกกาบาตมักปรากฏให้เห็นว่าอยู่ใกล้มากกว่าความเป็นจริงมาก เพราะฉะนั้น ความสูงเชิงมุม และความเร็วของมัน จึงมักถูกบอกเล่าเกินความจริง แต่ทิศทางของอุกกาบาตดวงใหญ่ๆ พอจะสรุปได้จากปากคำผู้คนทั่วบริเวณกว้างขวางหลายร้อยกิโลเมตร

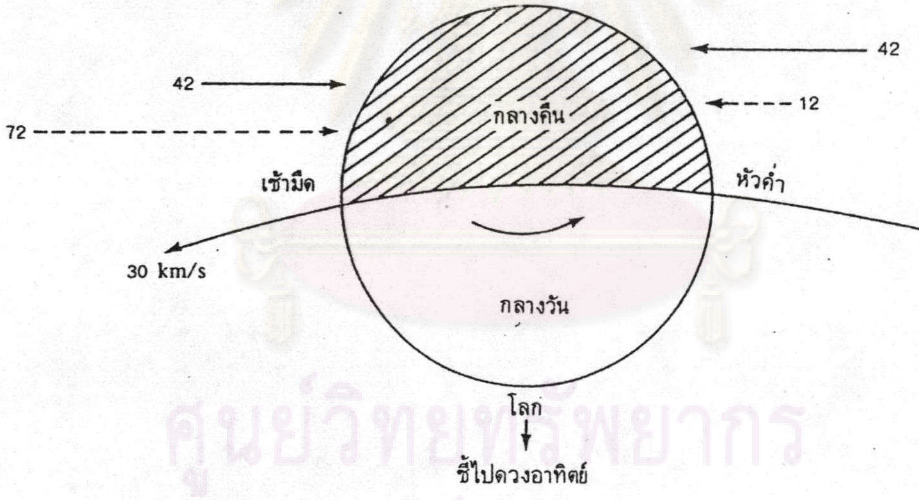
ทางโคจรของอุกกาบาตดวงเล็กๆ โดยทั่วไปนั้นหาได้จากการถ่ายรูปสำรวจท้องฟ้าประจำวัน คือ ต้องมีกล้องที่ออกแบบเป็นพิเศษ สำหรับถ่ายภาพมุมกว้าง 2 กล้อง ตั้งห่างกันหลายๆ กิโลเมตร หันหน้ากล้องไปยังท้องฟ้าส่วนเดียวกัน เมื่อปรากฏมีอุกกาบาตผ่านเข้ามาในบริเวณนั้น กล้องทั้งสองก็จะบันทึกภาพไว้พร้อมกัน กล้องแต่ละกล้องมีกลไกที่จะตัดภาพถ่ายให้เห็นเป็นช่วงๆ ด้วยแผ่นชัตเตอร์ที่มีรูปร่างคล้ายใบพัดหมุนได้ ภาพที่ถ่ายได้บนฟิล์มจะเห็นเป็นเส้นสั้นๆ เรียงกันเป็นแนวแทนที่จะเห็นเป็นทางติดต่อกัน เมื่อถ่ายได้ภาพอุกกาบาตดวงเดียวกันด้วยกล้องสองกล้องแล้ว ก็นำมาวิเคราะห์เปรียบเทียบหาทิศทางและความสูงในบรรยากาศได้โดยวิธีรูปสามเหลี่ยม (triangulation) เนื่องจากเราทราบอัตราเร็วของชัตเตอร์แบบหมุนของกล้อง ระยะระหว่างเส้นทางสั้นๆ บนรูปถ่ายทางอุกกาบาตจะเป็นเครื่องบอกความเร็วได้

เมื่อไม่นานมานี้ มีการตรวจหาอนุภาคอุกกาบาต โดยใช้วิทยุและเรดาร์เหมือนกัน ระหว่างปี พ.ศ. 2483 เศษๆ นั้น พบว่า อุกกาบาต ทำให้เกิดเสียงรบกวนในระบบวิทยุ-โทรคมนาคม เป็นเสียงหวีดที่มีเสียงต่ำลงค่อนข้างเร็ว ตั้งแต่นั้นมาจึงมีการนับจำนวนอุกกา-บาตจากจำนวนเสียงหวีดจากวิทยุ

อุกกาบาต หรือ meteoroids นั้น ความจริงเล็กมากไม่พอที่จะสะท้อนคลื่นเรดาร์กลับลงมายังพื้นโลกได้ แต่ในทางตรงกันข้าม คลื่นเรดาร์กลับสะท้อนกับก๊าซที่กลายเป็นอิออน

ระหว่างที่อุกกาบาตกลายเป็นไอไปในอากาศ กลุ่มอิออนของก๊าซนี้จะสะท้อนคลื่นเรดาร์กลับมาด้วยความเร็วเท่าแสง ช่วยให้คำนวณระยะทางของอุกกาบาตได้ว่าอยู่ไกลจากเครื่องส่งเรดาร์เท่าไรจากเวลาที่ส่งคลื่นไปและรับคลื่นสะท้อนได้ ความเร็วที่อุกกาบาตเคลื่อนเข้ามาหรือออกไปจากสถานีเรดาร์ ก็รู้ได้จากอัตราที่ระยะทางเปลี่ยนไป (range rate) ซึ่งช่วยให้รู้ความเร็วของอุกกาบาตในแนวสายตา จากข้อมูลที่สังเกตได้จากสถานีเรดาห์ 2 แห่ง ก็จะช่วยให้รู้ความสูง ความเร็ว และ ทิศทางของอุกกาบาตได้

<u>รูปที่ 2.4</u> **ความเร็วของอุกกาบาต** อุกกาบาตไม่สามารถมีความเร็วมากกว่าความเร็วหลุดพ้นที่วงโคจรของโลก หรือ 42 km/s ได้ ในตอนหัวค่ำอุกกาบาตจะต้องวิ่งตามโลก แต่หลังเที่ยงคืนโลกจะวิ่งตามและกวาดเก็บอุกกาบาตไว้ได้เกือบหมด ยกเว้น ตัวที่มีความเร็วสูงมาก เราจึงเห็นจำนวนอุกกาบาตหลังเที่ยงคืนมีมากกว่าก่อนเที่ยงคืน




อุกกาบาต ส่วนมากมีความเร็วระหว่าง 12-72 km/s และส่วนใหญ่จะปรากฏหลังเที่ยงคืนมากกว่าก่อนเที่ยงคืน ดังรูป**ที่ 2.4** แสดงสาเหตุของปรากฏการณ์นี้ซึ่งอาจอธิบายได้ว่า เนื่องจากอุกกาบาตเป็นสมาชิกในระบบสุริยะ ดังนั้น ความเร็วของมันที่วงโคจรของโลกจะไม่มีทางเกิน ความเร็วหลุดพ้นจากดวงอาทิตย์ หรือ 42 km/s ก่อนเที่ยงคืนจะมีอุกกาบาตที่เคลื่อนที่เร็วกว่าโลก (>30 km/s) เท่านั้นที่สามารถวิ่งมาชนโลกได้จากข้างหลัง ความเร็วสัมพัทธ์เทียบกับโลกจะไม่เกิน 42 - 30 = 12 km/s แต่หลังเที่ยงคืนโลกจะเคลื่อนที่ไป

ชนอุกกาบาตเกือบทุกชิ้น ยกเว้นชิ้นที่มีความเร็วมากกว่าโลกและโคจรไปในทิศเดียวกัน ความเร็วสัมพัทธ์เทียบกับโลกจะไม่เกิน 42 + 30 = 72 km/s อุกกาบาตที่เคลื่อนที่เร็วมักสว่างกว่าอุกกาบาตที่เคลื่อนที่ช้า มีสีต่างๆ ตั้งแต่ขาวออกน้ำเงินอ่อน จนถึงสีขาวออกเหลือง เขียว และสีแดงเรื่อ พวกที่วิ่งเร็วที่สุดจะออกสีขาวปนน้ำเงินอ่อน และพวกที่วิ่งช้าที่สุดจะมีสีแดงเรื่อ และมักมีทางเรืองปรากฏให้เห็น เพราะมีพลังงานสูงในการเข้ามาในบรรยากาศของโลก และดวงที่เร็วๆ ก็มักไหม้หมดไปในที่สูงๆ เสียโดยมาก ไม่ค่อยเหลือตกลงมาถึงพื้นโลก

<u>วงโคจรของอุกกาบาต</u>

ความรู้เรื่องความเร็วและทิศทางของอุกกาบาตในบรรยากาศโลก ช่วยให้คำนวณรู้วงโคจรของอุกกาบาตในอวกาศก่อนที่จะเข้ามาในโลกได้ การที่จะกำหนดรู้วงโคจรรอบดวงอาทิตย์ของอุกกาบาต จำเป็นต้องแก้ค่าเนื่องจาก

1. องค์ประกอบของความเร็วเทียบกับโลก ซึ่งเกิดจากความเร็วในวงโคจรของโลกราว 30 กิโลเมตรต่อวินาที
2. ความเร่งที่อุกกาบาตวิ่งเข้ามายังโลก เนื่องจากแรงดึงดูดของโลก และ
3. องค์ประกอบของความเร็วสัมพัทธ์ที่เกิดขึ้นเพราะการหมุนของโลก

สองประการหลังนี้ ทำให้ความเร็วของอุกกาบาต มีค่าผิดไป 0.8-12 กิโลเมตรต่อวินาที

โดยเหตุที่ อุกกาบาตเป็นวัตถุมีมวล ซึ่งเคลื่อนที่อยู่ในบริเวณสนามความโน้มถ่วงของดวงอาทิตย์ ดังนั้น มันจะมีวงโคจรตามกฎการเคลื่อนที่ในสนามความโน้มถ่วงนั้น การที่เราจะรู้ชนิดของวงโคจร ก็จำเป็นต้องรู้อัตราเร็วของอุกกาบาตที่วัดได้ และหักออกด้วยส่วนที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากผลของสนามความโน้มถ่วงของโลกเสียก่อน ถ้าอุกกาบาตนั้น มีอัตราเร็วสูงกว่าอัตราเร็วหลุดพ้น (velocity of escape) ที่บริเวณวงโคจรของโลก คือมีอัตราเร็วสูงกว่า 42 km/s (ซึ่งเป็นอัตราเร็วหลุดพ้นที่ระยะห่างจากดวงอาทิตย์ 1 AU) จะไม่เคลื่อนที่เป็นวงโคจรรูปวงรี กล่าวคือ มันจะไม่ใช่สมาชิกประจำของระบบสุริยะ เรียกว่า เป็นพวก**อุกกาบาตไฮเปอร์โบลิก** (hyperbolic meteor) และจะมีวงโคจรแบบไฮเปอร์โบลาออกไปจากระบบสุริยะอีกถ้าไม่ชนกับโลกเสียก่อน ส่วนพวกที่มีความเร็ว 42 km/s จะมีเป็น**อุกกาบาตที่มีวงโคจรแบบพาราโบลา** ส่วนพวกที่มีอัตราเร็วต่ำกว่า 42 km/s ก็จะเป็น พวก**อุกกาบาตที่มีวงโคจรเป็นรูปวงรี** และนับว่าเป็นสมาชิกของระบบสุริยะ

วงโคจรของอุกกาบาตลูกหนึ่งๆ ที่ เคลื่อนที่รอบดวงอาทิตย์ จะถูกครอบคลุมโดยกฎ 3 ข้อ ของเคปเลอร์ ดังนี้

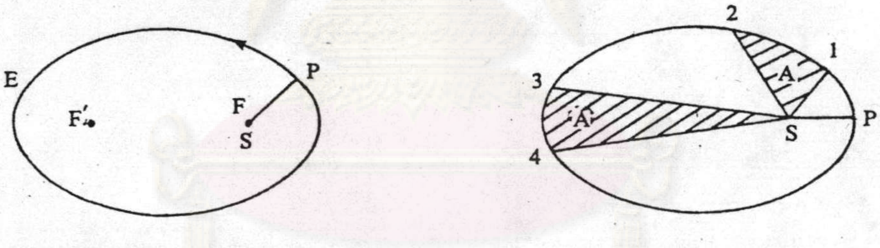
1. <u>กฎแห่งวงรี</u> กล่าวว่า วงโคจรของอุกกาบาตจะเป็นรูปวงรี ที่มีดวงอาทิตย์อยู่ที่จุดโฟกัสจุดหนึ่ง **(รูปที่ 2.5 ก)**

2. <u>กฎแห่งพื้นที่</u> กล่าวว่า เส้นตรงที่ต่อระหว่างดวงอาทิตย์กับอุกกาบาต จะกวาดพื้นที่ได้เท่ากันในช่วงเวลาที่เท่ากัน กฎนี้แสดงว่า เมื่ออุกกาบาตอยู่ใกล้ดวง-อาทิตย์มันจะโคจรเร็วกว่าเมื่ออยู่ไกลจากดวงอาทิตย์ **(รูปที่ 2.5 ข)**

<u>รูปที่ 2.5</u> กฎของเคปเลอร์

(ก) อุกกาบาต M ในวงโคจรในวงรี E รอบดวงอาทิตย์ S ซึ่งอยู่ที่จุดโฟกัส F ของวงรี

(ข) อุกกาบาตใช้เวลาเท่ากันในการโคจรจาก 1 ไป 2 และจาก 3 ไป 4 เส้นรัศมี SP จะกวาดพื้นที่ A ได้เท่ากัน ในช่วงเวลานี้




(ก) (ข)

3. <u>กฎฮาร์โมนิค</u> กล่าวว่า กำลังสองของคาบของวงโคจรของอุกกาบาต เป็นสัดส่วนโดยตรงกับกำลังสามของกึ่งแกนยาว (รัศมีเฉลี่ย) ของวงโคจร คือ

$$P^2 = ka^3$$

โดยที่ P คือ คาบของการโคจรของอุกกาบาต

a คือ ระยะทางเฉลี่ยระหว่างอุกกาบาตกับดวงอาทิตย์ (กึ่งแกนยาวของวงรี)

$$k = \frac{4\pi^2}{G\,(m_{\odot} + m_M)}$$

เมื่อ $m_{\odot}$ เป็นมวลดวงอาทิตย์มีค่า $1.99 \times 10^{30}$ กิโลกรัม

$m_M$ เป็นมวลอุกกาบาต ซึ่ง $<< m_{\odot}$

$$G = 6.67 \times 10^{-11} \quad N \cdot m^2/kg^2$$

$$= 6.67 \times 10^{-11} \quad m^3/s^2 \cdot kg$$

$$= \frac{6.67 \times 10^{-11} \times (0.67 \times 10^{-11})^3}{(3.32 \times 10^{-8})^2} \quad AU^3/yr^2 \cdot kg$$

$$= 0.19 \times 10^{-28} \quad AU^3/yr^2 \cdot kg$$

ดังนั้น

$$k \approx 4\pi^2 / (Gm_{\odot})$$

$$\approx 4\pi^2 / (0.19 \times 10^{-28} \times 1.99 \times 10^{30}) \quad AU^3/yr^2$$

$$\approx 1 \quad AU^3/yr^2$$

จะได้

$$\boxed{P^2 = a^3} \qquad (2.9)$$

เมื่อ P เป็นคาบของวงโคจรของอุกกาบาตมีหน่วยเป็น yr

a เป็นกึ่งแกนยาวของวงรี มีหน่วยเป็น AU

นอกจากนี้ยังเป็นไปตามกฎข้อที่ 4 ของเคปเลอร์ ซึ่งไม่ได้เขียนไว้ คือ

$$v_H^2 = G (m_{\odot} + m_M) (2/r - 1/a)$$

โดยที่ $v_H$ เป็นความเร็วของอุกกาบาตรอบดวงอาทิตย์ (Heliocentric velocity)

G เป็นค่าคงที่ $= 6.67 \times 10^{-11}$ $N \cdot m^2/kg^2$

$m_{\odot}$ เป็นมวลดวงอาทิตย์ $= 1.99 \times 10^{30}$ kg

$m_M$ เป็นมวลของอุกกาบาต

r เป็นระยะทางที่อุกกาบาตห่างจากดวงอาทิตย์

a เป็นระยะกึ่งแกนยาวของวงรีของวงโคจรของอุกกาบาต

ถ้ามวลอุกกาบาตน้อยกว่ามวลดวงอาทิตย์มาก ( $m_M << m_\odot$ ) จะได้ว่า

$$v_H^2 = Gm_\odot (2/r - 1/a)$$

แทนค่าจะได้

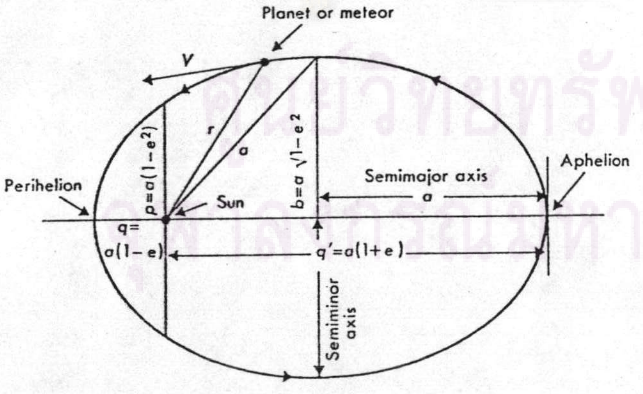
$$\boxed{v_H^2 = 886 (2/r - 1/a)} \quad (2.10)$$

เมื่อ $v_H$ มีหน่วยเป็น km/s , r และ a มีหน่วยเป็น AU

จากสมการ (2.10) เราก็สามารถหาค่าระยะกึ่งแกนยาว a ได้

เรขาคณิตเกี่ยวกับเรื่องของวงรี มีการประยุกต์ใช้ที่น่าสนใจอยู่หลายอย่างที่นำมาใช้กับเรื่องวงโคจร ระยะทางจากจุดที่อยู่ในเส้นที่ลากจากอุกกาบาตไปยังดวงอาทิตย์ทั้งใกล้สุดและไกลสุด ครึ่งหนึ่งของเส้น latus rectum ดังแสดงใน **รูปที่ 2.6** ระยะห่างระหว่างจุดโฟกัส 2 จุด จะมีค่าเท่ากับ 2ae โดยที่ a เป็นเส้นที่ลากจากอุกกาบาตไปยังดวงอาทิตย์ (r) ที่ไกลสุด

<u>รูปที่ 2.6</u> เรขาคณิตของวงรี




e = eccentricity = (a-b)/a

< 1 วงรี

= 0 วงกลม

= 1 พาราโบลา

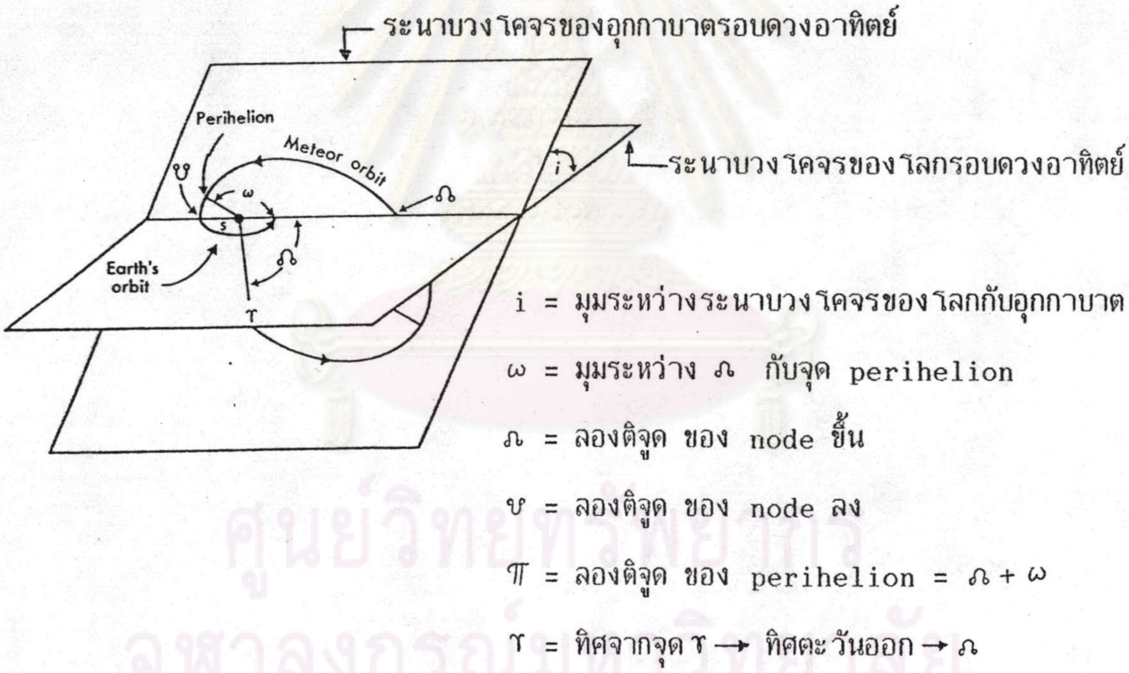
> 1 ไฮเปอร์โบลา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สำหรับกรณีของวงกลม ค่า e = 0 และจุดโฟกัส 2 จุดจะเป็นจุดเดียวกัน ขณะที่ค่า e เข้าสู่ค่า 1 วงรีจะดูยาวเรียวมากขึ้นเรื่อยๆ กลายเป็นวงโคจรแบบวงรี อุกกาบาตจะเคลื่อนห่างออกไปจากดวงอาทิตย์ เมื่อค่า e = 1 วงโคจรจะค่อย ๆ กลายเป็น รูปโค้ง-พาราโบลา จุดไกลสุดของเส้นรัศมี (a) จะอยู่ที่ระยะอนันต์ และ ความเร็วของอุกกาบาตในวงโคจรแบบพาราโบลาจะมีค่า 42 km/s เมื่อมันเคลื่อนที่ข้ามวงโคจรของโลก สำหรับวง-โคจรที่เป็นรูปไฮเปอร์โบลา ค่า e จะมากกว่า 1 และ a จะมีค่าเป็นลบ

ระนาบของวงโคจรของอุกกาบาตไม่ได้อยู่ในระนาบของวงโคจรของโลก ตัวอย่างแบบทั่วๆ ไปได้แสดงดังใน **รูปที่ 2.7**

รูปที่ 2.7 วงโคจรของอุกกาบาต




นอกจาก a กับ e แล้ว มุม i เป็นมุมเอียงระหว่างระนาบวงโคจรของโลกกับระนาบวงโคจรของอุกกาบาตรอบดวงอาทิตย์ตัดกัน และ ลองติจูดที่ลากจากเหนือไปใต้ของจุดตัด (node) ที่ขึ้นมา (ascending node) ให้เป็น ☊ ซึ่งจะระบุทิศทางของเส้นของจุดตัด (line of nodes) ส่วน ω เป็นมุมที่วัดจากจุด node ขึ้น (ascending node) ถึงเพอริฮิเรียน ตามวงโคจรของอุกกาบาต

อุกกาบาตที่ก่อให้เกิด fireball นั้นมีน้อย แต่ก็เคยถ่ายรูปไว้ได้กว่าร้อยดวง โดยหน่วยสำรวจอุกกาบาต the Prairie Network Meteoroid Patrol of the Smithsonian Astrophysical Observatory ปรากฏว่าวงโคจรของอุกกาบาตชนิดที่ก่อให้เกิด fireball นั้นอยู่ใกล้ระนาบอิคลิปติค และมีค่าเอคเซนตริซิตี้ (e) ต่ำ และโคจรรอบดวงอาทิตย์ในทิศทางตรง คือ จากทิศตะวันตกไปทิศตะวันออกเช่นเดียวกับดาวเคราะห์ทั้งหลาย เข้าใจว่าอุกกาบาตพวกนี้คงมีวงโคจรคล้ายทางโคจรชนิดที่ผิดปกติของดาวเคราะห์น้อยทั้งหลาย ซึ่งจะทำให้มันโคจรเข้าใกล้ดวงอาทิตย์ ภายในระยะทาง 1 หน่วยดาราศาสตร์ก็ได้

อุกกาบาตที่ก่อให้เกิด fireball นี้ มักกระทบโลกเมื่อได้โคจรตามมาทันโลกจากทางเบื้องหลัง เพราะมันโคจรไปในทางเดียวกับโลกโคจรรอบดวงอาทิตย์แต่มีความเร็วสูงกว่า แต่บางดวงก็มีความเร็วในวงโคจรรอบดวงอาทิตย์ต่ำกว่าโลก และ โลกก็โคจรตามทันมันได้ แต่เมื่อเทียบกับโลกแล้วความเร็วของมันต่ำมาก และคงเหลือมาปรากฏในบรรยากาศโลกในที่ต่ำมากสักหน่อย แล้วจึงร้อนพอที่จะกลายเป็นไอไปหมด จากความจริงที่ว่า fireball เกิดมีในที่ต่ำนี้จึงเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้มันมีความสว่างมากผิดปกติ

อุกกาบาตปกติโดยทั่วไปมีมากเป็นพันๆ ดวง ที่ไม่ได้มีมาเป็นกลุ่มเป็นฝูงนั้นมีทางรู้วงโคจรได้ด้วยวิธีการถ่ายรูปหรือไม่ก็ใช้เรดาร์ ซึ่งมักไม่ปรากฏใกล้ระนาบอิคลิปติก และจะเข้ามายังโลกจากทุกทิศทางได้เช่นเดียวกับดาวหางเหมือนกัน แม้ว่าส่วนมากจะคล้ายดาวหาง คือมีความเร็วสูงใกล้เคียงกับความเร็วหลุดพ้นจากระบบสุริยะ ซึ่งหมายความว่า ทางโคจรมันมีรูปร่างใกล้เคียงกับรูปพาราโบลา รอบดวงอาทิตย์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ในทางปฏิบัติจริงๆ เป็นการยากมากที่เราจะแยกพวกอุกกาบาตที่มีวงโคจรแบบไฮเปอร์โบลา ออกจากพวกที่มีวงโคจรแบบวงรี เพราะว่าเราพบว่าอุกกาบาตพวกที่มีวงโคจรเป็นวงรีพอสมควรนั้น มีอัตราเร็วต่ำไม่เกิน 3 % ของอัตราเร็วหลุดพ้น (42 km/s) และการวัดทางดาราศาสตร์ในปัจจุบันยังไม่ละเอียดพอที่จะแสดงความแตกต่างอันนี้ให้ชัดเจนได้ จึงยังมีอุกกาบาตเป็นจำนวนมากที่ได้ทำการวัดแล้วไม่อาจแน่ใจได้ว่าเป็นพวกที่มีวงโคจรเป็นไฮเปอร์โบลาหรือวงรีกันแน่ อัตราเร็วของอกกาบาตต่างๆ ที่วัดได้นั้นมีตั้งแต่ประมาณ 16-18 km/s

i17828844

ฝนอุกกาบาตบางสาย อาจเกิดจากการสลายตัวของดาวหาง และเคลื่อนที่ไปตามวงโคจรของดาวหางนั้น **ในตารางที่ 2.6** แสดงกลุ่มอุกกาบาต (swarms) ที่พบเปรียบเทียบกับดาวหาง ส่วนใน**ตารางที่ 2.7** แสดงธารอุกกาบาต (streams) ที่เกิดขึ้นเป็นประจำทุกปี

<u>ตารางที่ 2.6</u> วงโคจรของกลุ่มอุกกาบาต (swarms) และดาวหาง

| swarm | Date | Period | a | q | e | $\omega$ | $\Omega$ | i |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Leonids | Nov.11,1799 | 45.6 | 12.76 | 0.970 | 0.924 | 173.7 | 235.0 | 162.5 |
| | Nov.12,1833 | | | | | | | |
| | Nov.13,1866 | | | | | | | |
| Comet Temple | | 33.2 | 10.03 | 0.977 | 0.905 | 171.0 | 231.4 | 162.7 |
| Andromedids | Nov.27,1872 | 4.97 | 2.83 | 0.785 | 0.728 | 245.4 | 228.1 | 6.3 |
| | Nov.27,1885 | | | | | | | |
| | Nov.23,1892 | | | | | | | |
| Comet Biela | | 6.3 | 3.41 | 0.750 | 0.780 | 237.7 | 230.5 | 7.5 |
| Giacobinids | Oct. 9,1933 | 6.59 | 3.51 | 0.996 | 0.717 | 171.8 | 196.2 | 30.7 |
| | Oct.10,1946 | | | | | | | |
| Comet Giac-obini-Zinner | | 6.59 | 3.51 | 0.996 | 0.717 | 171.8 | 196.2 | 30.7 |

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.7 ธารอุกกาบาตที่ปรากฏให้เห็นเป็นประจำทุกปี

| STREAM | DATE AT MAXIMUM | DATE LIMITS | VISUAL RATE | TRANSIT, local time | RADIANT, R.A.Dec. | COMET |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | h m | ° ° | |
| Quadrantids | Jan.3 | Jan.1-Jan.4 | 45 | 0828 | 230 +48 | ? |
| Lyrids | Apr.21 | Apr.19-Apr.24 | 5 | 0359 | 270 +33 | 1861 I |
| $\eta$ Aquarids | May 4 | Apr.21-May 12 | 20 | 0736 | 336 +00 | Halley |
| Arietids D | June 8 | May 29-June 18 | 60 | 0951 | 44 +23 | ? |
| $\zeta$ Perseids D | June 9 | June 1-June 16 | 40 | 1059 | 62 +23 | ? |
| Ophuichids S | June 20 | June 17-June 26 | 20 | 2325 | 260 -20 | ? |
| $\beta$ Taurids D | June 30 | June 24-July 6 | 20 | 1112 | 86 +19 | Encke |
| $\delta$ Aquarids | July 29 | July 21-Aug.15 | 15 | 0210 | 339 -17 | ? |
| $\alpha$ Capricornids | Aug.1 | July 17-Aug.21 | 5 | 0000 | 309 -10 | 1948 n |
| $\iota$ Aquarids | Aug.5 | July 15-Aug.25 | 5 | 0136 | 331 -5 | ? |
| Perseids | Aug.12 | July 25-Aug.17 | 50 | 0543 | 46 +58 | 1862 III |
| $\kappa$ Cygnids | Aug.20 | Aug.18-Aug.22 | 5 | 2125 | 289 +56 | ? |
| Orionids | Oct.22 | Oct.18-Oct.26 | 20 | 0412 | 94 +16 | Halley |
| Taurids | Nov.1 | Sept.15-Dec.15 | 5 | 0042 | 51 +14 | Encke |
| Andromedids | Nov.14 | Nov.3-Nov.22 | 2 | 2220 | 22 +27 | Biela |
| Leonids | Nov.17 | Nov.14-Nov.20 | 5 | 0622 | 152 +22 | Temple |
| Phoenicids S | Dec.5 | Dec.5-Dec.5 | 50 | 2000 | 15 -55 | Blanpain |
| Geminids | Dec.14 | Dec.7-Dec.15 | 60 | 0201 | 113 +32 | ? |
| Ursids | Dec.22 | Dec.17-Dec.24 | 5 | 0824 | 206 +80 | Tuttle |

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

มีอุกกาบาตจำนวนไม่มากนักที่นักดาราศาสตร์ได้สามารถทำการถ่ายภาพและวัดอัตราเร็วไว้ได้อย่างถี่ถ้วน ปรากฏว่าทั้งหมดมีเส้นทางโคจรเป็นวงรี และวงโคจรเหล่านี้คล้ายคลึงกับวงโคจรของพวกดาวเคราะห์น้อยมาก ซึ่งทำให้คิดว่าอาจจะแตกต่างจากดาวเคราะห์น้อยก็เพียงขนาดเท่านั้น และตามความจริงแล้วเราก็ไม่สามารถจะกำหนดลงไปว่าดาวเคราะห์น้อยขนาดเล็กที่สุดควรเป็นเท่าใด และอุกกาบาตขนาดใหญ่ที่สุดควรเป็นเท่าใด

นับตั้งแต่ พ.ศ.2489 เป็นต้นมา สถานีเรดาร์ใหญ่ของมหาวิทยาลัยแมนเชสเตอร์ในอังกฤษได้ศึกษาการสะท้อนของคลื่นเรดาร์จากแนวทางอุกกาบาต แมคคินเลย์ได้วิเคราะห์อัตราเร็วของอุกกาบาต 12000 ดวง โดยวิธีเรดาร์นี้ปรากฏว่า ไม่พบอุกกาบาตไฮเปอร์โบลิกอย่างชัดเจน หลักฐานจากเรดาร์นี้บ่งไปในแนวที่ว่า อุกกาบาตเป็นสมาชิกของระบบสุริยะ ไม่ได้มาจากภายนอกระบบสุริยะ

เชื่อได้ว่า meteoroids ส่วนใหญ่ แม้จะไม่ทั้งหมด มีกำเนิดจากส่วนภายในของระบบสุริยะ เหตุผลและข้ออภิปรายต่างๆ ก็คล้ายกับปัญหาว่าดาวหางเป็นสมาชิกของระบบสุริยะหรือไม่เช่นกัน ถ้าบรรดาอุกกาบาตทั้งปวงจะเป็นวัตถุแปลกปลอมเข้ามาในระบบสุริยะจากภายนอกแล้ว มันต้องมีวงโคจรเป็นทางรูปไฮเปอร์โบลา มีวงโคจรของอุกกาบาตอยู่เพียงไม่กี่ดวงที่สังเกตได้ว่าเป็นไฮเปอร์โบลาเล็กน้อยซึ่งอาจเปลี่ยนรูปไปจากพาราโบลาเนื่องจากแรงดึงดูดรบกวนของดาวเคราะห์ต่างๆ ก็ได้ และก็เช่นเดียวกับดาวหาง วงโคจรของอุกกาบาตที่พบว่าเป็นรูปพาราโบลานั้นก็อาจเป็นส่วนของรูปวงรียาวมากก็ได้ และอาจกล่าวได้ว่า อุกกาบาตทั้งหลายที่สังเกตได้นั้น อาจเป็นวัตถุจากอวกาศภายนอกระบบสุริยะได้ไม่ถึง 1 % หรืออาจจะน้อยกว่านี้มากก็ได้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

<u>มวลของอุกกาบาต</u>

มวลขั้นต่ำสุดของอุกกาบาตนั้น เราอาจประมาณได้จาก ปริมาณแสงสว่างที่เกิดขึ้น เราสามารถวัดความเข้มของแสงสว่างได้จากความจ้าของรูปถ่ายของทางอุกกาบาต และจากความสูงของมันกับระยะทางถึงอุกกาบาต ก็ช่วยให้คำนวณปริมาณพลังงานแสงทั้งหมดที่เปล่งออกมาในช่วงเวลาสั้นๆ นั้นได้ พลังงานดั้งเดิมของพลังงานแสงนี้ก็คือพลังงานจลน์ (พลังงานแห่งการเคลื่อนที่) ของอุกกาบาตเมื่อมันตกเข้ามาในบรรยากาศนั่นเอง

พลังงานจลน์ของวัตถุใดๆ ที่เคลื่อนที่ มีค่าเป็น ครึ่งหนึ่งของผลคูณระหว่าง มวล กับกำลังสองของความเร็วของมัน นั่นคือ $E_k = (1/2)\ mv^2$ ความเร็วของอุกกาบาตหาได้ด้วยวิธีดังกล่าวมาแล้วในหัวข้อความเร็วของอุกกาบาต และถ้าถือว่าพลังงานจลน์ทั้งหมดของ meteoroid เปลี่ยนรูปเป็นแสงสว่าง ก็จะคำนวณหามวลของอุกกาบาตก่อนเข้ามาในโลกได้จากสูตรข้างต้น แต่ว่าพลังงานจลน์ของอนุภาคอาจเปลี่ยนรูปไปเป็นพลังงานอื่นนอกจากแสงได้ เพราะฉะนั้น มวลที่แท้จริงของมันจึงต้องมีมากกว่าที่คำนวณได้ มวลของอุกกาบาตที่ก่อให้เกิดแสงสว่างๆ มีมวลประมาณ 1/4 กรัม ส่วนที่จะมีมวลขนาด 2-3 กรัมขึ้นไปมีไม่มากนัก ที่เห็นเป็นแสงสว่างวาบโดยทั่วไปนั้น เกิดจากอนุภาคที่มีมวลไม่กี่มิลลิกรัม (โดยเฉลี่ยราว 30-100 มิลลิกรัม) ดังนั้น อุกกาบาตส่วนมากจึงมีขนาดเล็กกว่าก้อนกรวดมาก

สังเกตได้โดยมากว่าอุกกาบาตเคลื่อนที่ด้วยความเร็วลดลงอย่างรวดเร็ว แสดงว่าอุกกาบาตต้องมีความหนาแน่นต่ำราวขนาดเดียวกับน้ำแข็ง หรืออาจต่ำกว่านั้น และอาจมีลักษณะเป็นรูพรุนก็ได้

อัตราที่โลกได้รับวัตถุธาตุจากอุกกาบาตนั้นไม่เป็นที่รู้แน่นอนนัก แต่มวลของอุกกาบาตทั้งหมด ที่ก่อให้แสงสว่างวาบขึ้นในบรรยากาศโลก ในวันหนึ่งๆ ประมาณได้ว่าค่าอยู่ระหว่าง 10-100 ตัน ซึ่งจะถมพื้นดินของโลกให้สูงขึ้นได้ไม่ถึงหนึ่งนิ้วในเวลาสองพันล้านปี

<u>อายุของอุกกาบาต</u>

อายุของอุกกาบาต หาได้โดยวิธีตรวจดูสารกัมมันตรังสี ซึ่งเป็นวิธีเดียวกันกับที่ใช้ในการหาอายุหินในเปลือกโลก ธาตุชนิดหนักๆ มักมีอะตอมไม่เสถียร และแตกตัวออกเป็นอะตอมชนิดเบาลง เช่น ยูเรเนียมชนิดน้ำหนักอะตอม 238 ครึ่งหนึ่งของอะตอมทั้งหมด จะสลายตัวไปในเวลา 4.5 พันล้านปี ยังเหลืออะตอมยูเรเนียมอีกเพียงครึ่งหนึ่ง และในระยะเวลา 4.5 พันล้านปีต่อไป อะตอมที่เหลือนั้นจะสลายตัวไปอีกครึ่งหนึ่ง คงเหลือเพียงเศษหนึ่งส่วนสี่ และในอะตอมจำนวนนี้ก็จะสลายตัวต่อไปอีกในเวลา 4.5 พันล้านปี คงเหลืออะตอมยูเรเนียมเพียงเศษหนึ่งส่วนแปดของจำนวนเดิม เช่นนี้เรื่อยๆ ไป ระยะเวลา 4.5 พันล้านปี นี้เรียกว่าครึ่งชีวิต (half life) ของยูเรเนียม ครึ่งชีวิตของทอเรียม ยาวนานมากที่สุดถึง 13.9 พันล้านปี เรเดียมมีครึ่งชีวิต 1620 ปี

ผลิตภัณฑ์ขั้นสุดท้ายที่ได้จากการสลายตัวทางกัมมันตภาพรังสีตามธรรมชาติคือ ฮีเลียม (ซึ่งมักอยู่ในหินเดิมที่มีแร่กัมมันตรังสี) และตะกั่วชนิดต่างๆ ด้วยเหตุนี้ ปริมาณสารกัมมันตรังสี เช่น ยูเรเนียม ฮีเลียม และ ตะกั่ว ที่มีอยู่ในอุกกาบาตชิ้นหนึ่ง จะเป็นเครื่องบอกให้รู้ว่า กระบวนการสลายตัวทางกัมมันตภาพรังสี เกิดมีมานานเท่าใดแล้ว ซึ่งก็คือ อายุของอุกกาบาต นั่นเอง อายุที่หาได้เช่นนี้ใช้ได้สำหรับอายุของอนุภาคแข็งในสภาพแร่ที่พบในอุกกาบาตเท่านั้น พบว่าอายุของอุกกาบาตต่างๆ มีอายุ 4.6 พันล้านปี พอๆ กับอายุโลก

meteoroid ในอวกาศนั้นจะถูกระดมยิงด้วยรังสีคอสมิคอยู่ตลอดเวลา อนุภาคพลังงานสูงพวกนี้จะทำให้นิวเคลียสของอะตอมบางตัวที่ถูกชนแตกตัวเป็นไอโซโทปของ อาร์กอน-39 ได้ ดังนั้น ปริมาณของอาร์กอน-39 ในอุกกาบาตก็เป็นเครื่องบอกให้รู้ว่าอุกกาบาตนั้นได้รับรังสีคอสมิค อยู่ในอวกาศมานานเท่าไรด้วย อายุ exposure ages แบบนี้โดยทั่วไปก็ไม่เกิน $5 \times 10^7$ ปี ซึ่งต้องเป็น ระยะเวลาที่อุกกาบาตที่ถูกวิเคราะห์ตรวจสอบนั้นได้แยกตัวออกมาจากวัตถุแม่ของมัน

<u>ต้นกำเนิดของอุกกาบาต</u>

มีหลักฐานเพิ่มขึ้นมากมายล้วนแล้วแต่แสดงว่า meteooroids เป็นอันมากนั้น เป็นผลิตผลจากการแตกกระจายของวัตถุขนาดใหญ่ๆ เช่นที่เราเห็นมาแล้วว่า อนุภาคขนาดเล็กๆ นั้นไม่สามารถจะอยู่ได้ตลอดไปในระบบสุริยะ โดยไม่ถูกดูดเข้าสู่ดวงอาทิตย์ด้วยแรงพอยน์ติง-โรเบิร์ตสัน ได้เลย

ว่ากันโดยขนาดแล้ว วัตถุขนาดเล็กของระบบสุริยะมีขนาดลดหลั่นกันลงไปตั้งแต่ขนาดดาวเคราะห์น้อย ไปจนถึงวัตถุอุกกาบาตที่โตพอที่จะทำให้เกิดหลุมอุกกาบาตบนผิวพื้นโลก อุกกาบาตขนาดที่จะทำให้เกิดลูกอุกกาบาต อุกกาบาตธรรมดาที่ทำให้เกิดแสงสว่างวาบ ลงไปจนถึงจุลอุกกาบาต จำนวนชิ้นส่วนและอนุภาคต่างๆ ดูแล้วก็น่าที่เราจะคิดว่ามันเกิดจากการแตกกระ-จายคล้ายกับการโม่หิน การที่วัตถุขนาดใหญ่ๆ 2-3 อันจะชนกันแตกนั้น รู้สึกจะหายากและคงจะไม่ค่อยมี แต่ถ้าได้ชนกันแตกกระจายครั้งหนึ่งๆ แล้วก็จะทำให้เกิดมีวัตถุขนาดเล็กรองๆ ลงไปมากมาย และวัตถุเหล่านี้ต่างก็จะกระทบกระทั่งกันต่อไปเรื่อยๆ แตกกระจายมากขึ้น การกระ-ทบชนกันก็ยิ่งมีมากขึ้น ทำให้ชิ้นส่วนของวัตถุต่างๆ แตกแยกเป็นชิ้นย่อยๆ เล็กลงไปเรื่อยๆ

J.Wasson และ ผู้ร่วมงานของเขาที่ UCLA ได้ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของอุกกาบาตชนิดต่างๆ พบว่ามีธาตุแกลเลียม และเจอร์มาเนียม มากมายในอุกกาบาตเหล็ก และบางอันก็มีลักษณะอย่างเดียวกับอุกกาบาตที่เก็บได้จากที่ต่างๆ ทั่วโลก นี่คือหลักฐานที่แสดงว่าอุกกาบาตต่างๆ กันหลายๆ ชิ้นอาจเกิดมาจากวัตถุชิ้นเดียวกันได้ หมายความว่ากำลังเกิดมีการแตกกระจาย (fragmentation) เป็นชิ้นเล็กชิ้นน้อยอยู่ตลอดเวลา

ต้นกำเนิดของลูกอุกกาบาต (Origin of Meteorites) ยังคงเป็นปัญหาที่ยังหาคำตอบได้น้อยมาก แต่อย่างไรก็ตามได้มีการวิเคราะห์อย่างชัดเจนแล้วว่า อุกกาบาตถูกสร้างเป็นรูปร่างในที่ที่ไม่มีทั้งออกซิเจนอิสระและน้ำ ทฤษฎีที่ง่ายที่สุด อธิบายดังนี้ :

ดาวเคราะห์น้อยที่มีโครงสร้างคล้ายๆ โลก คือ มีผิวเป็นหิน ชั้นลึกลงไปเป็นหินผสมกับโลหะ ถ้าดาวเคราะห์น้อย 2 ดวง ต่างโคจรรอบดวงอาทิตย์ และเกิดการชนกัน ดาวเคราะห์น้อยทั้งสอง อาจจะแตกออกเป็นชิ้นเล็กชิ้นน้อยโดยง่าย เศษชิ้นส่วนเหล่านี้น่าจะเป็นลูกอุกกาบาตต่างๆ ลูกอุกกาบาตชนิดหินมาจากผิวชั้นนอกของดาวเคราะห์น้อย ลูกอุกกาบาตชนิดหินเหล็กมาจากชั้นกลางๆ และ ชนิดเหล็กมาจากส่วนใจกลางของดาวเคราะห์น้อย

Nininger ไม่ได้คัดค้านทฤษฎีนี้ในตอนเริ่มแรก แต่อ้างเหตุผลว่า เมื่อมีการชนกันมันควรจะผลิตความร้อนมากขึ้นจนเศษชิ้นส่วนเล็กๆ ถูกหลอมละลายให้หายไปหรืออย่างน้อยที่สุดก็ถูกหลอมให้เหลือเพียงครึ่งเดียว เศษชิ้นส่วนที่เหลือเหล่านี้น่าจะเย็นตัวอย่างรวดเร็วและต่างก็เริ่มโคจรรอบดวงอาทิตย์อีกครั้ง บางชิ้นมีระยะที่ใกล้ดวงอาทิตย์มากที่สุด (perihelion) ที่ใกล้กับดาวพุธหรือใกล้กว่าดาวพุธ ก็จะถูกทำให้ร้อนขึ้นอีก และค่อยๆ เกิดการเปลี่ยนแปลงทีละน้อยจากการที่เป็นเนื้อสารของแข็ง กลายเป็น โครงสร้างที่เป็นผลึกของลูกอุกกาบาต การเข้าใกล้ดวงอาทิตย์ที่สุด ไปครั้งหนึ่ง อาจก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงไปทีละน้อย แต่ถ้าเข้าใกล้ดวงอาทิตย์ที่สุด หลายๆ ครั้ง ก็สามารถทำให้เกิดเป็นโครงสร้างแบบปัจจุบันที่พบได้

Harrizon Brown ได้ศึกษาการเกิดลูกอุกกาบาต โดยวิชาเธอร์โมไดนามิกส์เกี่ยวกับการกระจายธาตุเคมีต่างๆ ในลูกอุกกาบาต เขาสรุปว่า ลูกอุกกาบาตที่พบเป็นส่วนของดาวเคราะห์ดวงหนึ่งที่เวลาหนึ่งที่มีขนาดราวๆ ดาวอังคาร และถูกทำให้แตกกระจายโดยวิธีหนึ่งที่เรายังไม่ทราบ

เราน่าจะตั้งสมมติฐานได้ว่า อุกกาบาตเหล็กนั้นเกิดจากแกนกลาง (core) ที่มีส่วนประกอบเป็นเหล็ก และอุกกาบาตหินนั้นมาจากส่วนรอบนอก (mantle) ของดาวเคราะห์ที่เกิดมีมาก่อน แต่ก็ยากที่จะอธิบายได้ว่าดาวเคราะห์อย่างนั้นมันแตกกระจายออกมาได้อย่างไร นอกจากนี้แล้ว ดาวเคราะห์น้อยและอุกกาบาตทั้งปวง รวมกันแล้วยังมีมวลน้อยมากเมื่อเทียบกับดาวเคราะห์ต่างๆ ที่รู้จักกัน อีกประการหนึ่งอาจเป็นได้ว่ามีวัตถุหลายอันที่มีขนาดเท่าๆ กับดาวเคราะห์น้อยซีรีส (Ceres) ซึ่งมีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 768 กิโลเมตร และดาว Pallus กับ Vesta ก็มีขนาดใกล้เคียงกัน เป็นตัวก่อให้เกิดมี ชิ้นส่วนวัตถุขนาดเล็ก ดังที่เราสังเกตพบในทุกวันนี้ เราคิดว่ากลุ่มดาวเคราะห์น้อย 2 กลุ่มหรือมากกว่านี้ ที่คล้ายคลึงกับ Ceres ได้มีการชนกันในอดีต ดังนั้นกลุ่มดาวเคราะห์น้อยที่มีรูปร่างผิดปกติไปจึงถูกสันนิษฐานว่าเป็นผลเนื่องมาจากการชนกันดังกล่าว

เมื่อเป็นดังนี้ ดาวเคราะห์น้อย อุกกาบาตขนาดใหญ่ๆ และจุลอุกกาบาต ก็น่าจะเกิดจากวัตถุที่มีขนาดเล็กกว่าดาวเคราะห์ธรรมดา (subplanetary bodies) หลายๆ อัน เราคงจำได้ว่า ส่วนใหญ่ของอนุภาควัตถุที่ก่อให้แสงสว่างวาบดังที่สังเกตได้นั้น ล้วนมีวงโคจรที่มีลักษณะคล้ายวงโคจรของดาวหาง และยิ่งกว่านี้ ธาตุในอุกกาบาตนั้นยังมีส่วนสัมพันธ์กับเศษชิ้นส่วนของดาวหางอย่างแน่นอน

เรายังรู้เกี่ยวกับ fireballs น้อยมาก เนื่องจากการพบเห็น fireballs เป็นเรื่องยากมาก ได้มีการสงสัยกันว่า fireballs น่าจะไม่มีความเกี่ยวข้องกับอนุภาคของดาวหาง ดังนั้น มันจึงไม่ถูกขับออกมาหรือหลุดออกมาจากดาวหาง fireballs ที่จะทำให้มีความสว่างเท่าดวงจันทร์เวลาเต็มดวง ต้องมีน้ำหนักประมาณ 91 กิโลกรัม มันเป็นเรื่องยากที่จะเข้าใจว่า ละอองที่ลอยเป็นอิสระที่เกี่ยวข้องกับนิวเคลียสของดาวหางจะถูกรวบรวมเข้าไว้ด้วยกันได้อย่างไรเพื่อที่จะกลายเป็นวัตถุที่มีขนาดใหญ่อันหนึ่ง บางทีวัตถุที่เป็น fireballs อาจจะมีความสัมพันธ์กับ กลุ่มดาวเคราะห์น้อย (asteroids) ซึ่งมีขอบเขตอยู่ระหว่าง ดาวอังคารกับดาวพฤหัส ที่ซึ่งมีเศษชิ้นเล็กๆ หลายพันชิ้นอยู่ในบริเวณนั้น การคำนวณต่างๆ ได้แสดงให้เห็นว่า fireballs ที่มีความสว่างเท่าพระจันทร์เต็มดวงนั้น จะเข้าไปในบรรยากาศ และปล่อยลูกอุกกาบาตเป็นของแข็งหนัก 9.1 กิโลกรัม ไว้บนผิวโลก ลูกอุกกาบาตที่ได้มาหลังจากที่ fireballs หรือ bolide ปรากฏขึ้นในท้องฟ้า จะให้การสนับสนุนต่อทฤษฎีที่กล่าวว่า

ลูกอุกกาบาตเกี่ยวข้องกับเศษชิ้นเล็กๆ จากกลุ่มดาวเคราะห์น้อย เป็นเรื่องสำคัญที่เราจะแบ่งแยกระหว่าง meteoroids กับ meteorites ว่า meteoroids เป็นละอองกลมๆ (dust balls) ที่หลุดออกมาหรือถูกขับออกมาจากดาวหาง ส่วน meteorites เป็นก้อนแข็งๆ ที่มาจากขอบเขตของกลุ่มดาวเคราะห์น้อย (asteroid zone) การแบ่งแยกนี้ จะมีการเน้นให้เห็นชัดยิ่งขึ้นโดยข้อเท็จจริงสองประการที่สัมพันธ์กันต่อไป meteorites ทุกชิ้นนั้นได้มีการสังเกตว่า มันจะตกลงมาในวันที่ไม่มีฝนอุกกาบาต หรือ มันจะตกลงมาเป็นไปตามทางโคจรที่แตกต่างจากอุกกาบาตต่างๆ ในธารอุกกาบาต (meteors in stream) ไม่มีอุกกาบาตอันใดในธารอุกกาบาต (meteor stream) ที่เคยถูกสังเกตว่าตกลงมาสู่โลก และในกรณีนี้ก็จะรวมถึง พายุอุกกาบาตที่รุนแรง (intense storms) ด้วย อาทิเช่น Giacobinids หรือ Leonids เมื่ออุกกาบาตหลายๆ พันลูกปรากฏขึ้นระหว่างช่วงเวลาใน 1 ชั่วโมง

ยังมีเรื่องที่ต้องศึกษาสอบสวนให้รู้อีกมากมาย เกี่ยวกับ เรื่องกำเนิดของวัตถุขนาดเล็กๆ พวกนี้ อย่างดีที่สุดเราอาจกล่าวได้เต็มปากก็คือ meteoroids ส่วนมาก น่าจะมีกำเนิดเกี่ยวข้องกับดาวหางทั้งหลาย และอีกส่วนหนึ่งก็น่าจะมีกำเนิดอย่างเดียวกับบรรดาดาวเคราะห์น้อยทั้งปวงเท่านั้นเอง

การศึกษาและวิจัยเรื่องอุกกาบาต จะให้ความรู้เรื่อง ความเป็นมาของโลก และดาวเคราะห์ต่างๆ ว่าอุบัติขึ้นอย่างไร เป็นเวลานานมาแล้วเท่าใด ธรรมชาติของดาวเคราะห์อื่นๆ เป็นอย่างไร ฯลฯ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย