

CƠ HỌC THIÊN THỂ (celestial mechanics)

Là lĩnh vực động lực học được áp dụng cho các thiên thể chuyển động dưới tác dụng hấp dẫn lẫn nhau của chúng trong các hệ có ít thiên thể. Nó thường mô tả và dự đoán các chuyển động trong hệ mặt trời, của cả các vật thể tự nhiên như hành tinh, vệ tinh, tiểu hành tinh và sao chổi cũng như các vật thể nhân tạo như tàu thăm dò không gian. Nó cũng có thể được áp dụng cho các hệ sao nhỏ.

Định luật Newton

Định luật vạn vật hấp dẫn của Isaac Newton là nền tảng của hầu hết lĩnh vực này. Nó phát biểu rằng lực do hạt này tạo ra tác dụng lên hạt khác có lực hút dọc theo đường nối các vật thể, tỷ lệ với tích các khối lượng của các vật thể và tỷ lệ nghịch với bình phương khoảng cách giữa các vật thể. Hằng số tỷ lệ là G , hằng số phổ quát của lực hấp dẫn. Khi đó, định luật chuyển động thứ hai của Newton nói rằng gia tốc mà một vật chịu bằng lực tác dụng lên vật đó chia cho khối lượng của nó.

Bài toán 2 vật

Bài toán đơn giản nhất và duy nhất có thể giải được chính xác trong cơ học thiên thể là bài toán một thiên thể này chuyển động quanh một thiên thể khác. Vì bất kỳ vật thể nào có đối xứng cầu trông giống như một khối lượng điểm nhìn từ bên ngoài về mặt hấp dẫn, nên kết quả của bài toán này có thể được sử dụng để mô tả gần đúng chuyển động tương đối của hai vật thể hữu hạn, chẳng hạn như một hành tinh quay quanh Mặt trời hoặc một vệ tinh quay quanh một hành tinh. Các kết quả chính của bài toán này đã được Johannes Kepler xác nhận bằng thực nghiệm và được thể hiện trong ba định luật về chuyển động hành tinh của ông. Thông thường chuyển động của vật nhỏ hơn (phụ) được mô tả tương ứng với chuyển động của vật lớn hơn (chính).

Chuyển động tương đối này bị giới hạn trong một mặt phẳng và đường đi được vẽ là một phần hình conic sao cho tiêu điểm chính đặt tại một tiêu điểm. Nếu các vật thể bị ràng buộc bởi lực hấp dẫn thì hình conic là một hình elip. Đoạn dài nhất nối các điểm đối diện trên hình elip được gọi là trục chính và một nửa chiều dài này được gọi là bán trục lớn. Sự dịch chuyển của hình elip khỏi một vòng tròn được gọi là độ lệch tâm, thường khá nhỏ đối với quỹ đạo hành tinh. Độ lệch của mặt phẳng so với một mặt phẳng tham

chiều nào đó được gọi là độ nghiêng và đối với hệ mặt trời, mặt phẳng tham chiếu đó là mặt phẳng quỹ đạo Trái đất, được gọi là mặt phẳng hoàng đạo. Độ nghiêng của hành tinh cũng thường khá nhỏ. Đường giao nhau của mặt phẳng chuyển động với mặt phẳng tham chiếu được gọi là đường nút. Điểm trên quỹ đạo gần vật chính nhất, nằm ở một đầu của trục chính, được gọi là cận tâm (đặc biệt đối với các quỹ đạo hành tinh, gọi là điểm cận nhật) và khoảng cách góc của nó với nút được gọi là argument của cận tâm. Tham số nữa là chu kỳ quay, và lập phương của bán trục lớn chia cho bình phương của chu kỳ tỷ lệ với tổng khối lượng của hai khối lượng. Vì khối lượng hành tinh nhỏ so với Mặt trời nên tỷ lệ này về cơ bản là không đổi đối với các hành tinh; đây là định luật thứ ba của Kepler, còn được gọi là định luật điều hòa.

Kết quả thứ hai được áp dụng bất cứ khi nào các lực hướng dọc theo đường nối hai vật. Động lượng góc được bảo toàn, làm cho đường nối hai vật quét được những diện tích bằng nhau trong những khoảng thời gian bằng nhau, một kết quả nêu trong định luật thứ hai của Kepler. Điều này dẫn đến vận tốc tương đối trên quỹ đạo tỷ lệ nghịch với căn bậc hai của khoảng cách. Hình elip không phải là loại chuyển động tương đối duy nhất được phép và loại hình conic phụ thuộc vào tổng năng lượng trong quỹ đạo. Nếu có vừa đủ năng lượng để các vật thoát ra khỏi nhau thì quỹ đạo tương đối là một parabol. Nếu có thừa năng lượng để thoát ra, sao cho vận tốc tương đối nào đó vẫn được giữ nguyên thì quỹ đạo là một hyperbol. Một hyperbol cũng mô tả chuyển động tương đối của hai vật thể độc lập gặp nhau, như trường hợp hai ngôi sao trong thiên hà.

Xác định quỹ đạo

Một trong những bài toán vận hành chính của cơ học thiên thể là xác định quỹ đạo của một vật thể trong hệ mặt trời từ các quan sát vị trí hoặc khoảng cách cộng với vận tốc đường ngắm của nó tại các thời điểm khác nhau. Mục tiêu là xác định các giá trị số của các tham số đặc trưng cho quỹ đạo, được gọi là các phần tử quỹ đạo. Đầu tiên người ta thường giả định rằng chuyển động là chuyển động của hệ hai vật và khối lượng của vật là không đáng kể.

Như vậy, sáu yếu tố phải được xác định. Mỗi quan sát bao gồm hai giá trị tại mỗi thời điểm. Vì cần sáu số để tìm ra sáu số khác nên cần tối thiểu

ba quan sát. Thông thường có nhiều hơn ba quan sát, điều đó có nghĩa là không thể có một nghiệm duy nhất, nhưng các giá trị tốt nhất phải được ước tính theo một nghĩa thống kê nào đó.

Bài toán trở nên khó khăn vì các quan sát được thực hiện từ bề mặt Trái đất, và do đó các thông số dễ dàng mô tả bằng bài toán hai vật không được quan sát. Vị trí của điểm quan sát đối với Mặt trời phải được biết chính xác và đây thường là yếu tố hạn chế trong việc xác định quỹ đạo. Trong nhiều trường hợp, sự cải thiện kiến thức về quỹ đạo Trái đất là kết quả hữu ích nhất của một loạt các quan sát.

Lịch thiên văn Khi đã biết quỹ đạo, vị trí tương lai của vật thể có thể được dự đoán. Một bảng các vị trí dự đoán được gọi là lịch thiên văn và việc tạo ra một bảng như vậy tương đối đơn giản. Thông thường, các quan sát tiếp theo sẽ được thu thập và kiểm tra sự khác biệt, từ đó dẫn đến giá trị được cải thiện cho các phần tử trong một chu kỳ lặp lại liên tục.

Chuyến bay vào vũ trụ và đạn đạo Một vấn đề quan trọng khác là xác định quỹ đạo thích hợp để đi từ điểm này vào thời điểm này đến điểm khác vào thời điểm khác. Điều này có thể liên quan đến việc di chuyển từ thiên thể này sang thiên thể khác (chuyến bay vào vũ trụ) hoặc từ điểm này sang điểm khác trên cùng một thiên thể (đạn đạo). Đối với chuyến bay vào vũ trụ, cách tiếp cận là xem xét một số bài toán 2 vật và sau đó ghép chúng lại với nhau. Ví dụ, đối với chuyến bay liên hành tinh, có một quỹ đạo hyperbol ban đầu đối với một hành tinh, một quỹ đạo hình elip đối với Mặt trời trong phần lớn hành trình và một quỹ đạo hyperbol cuối cùng đối với hành tinh kia. Về mặt kinh tế, người ta mong muốn có một quỹ đạo có ít sự thay đổi năng lượng nhất có thể. Điều này quyết định một quỹ đạo nhật tâm hình elip vừa tiếp xúc với một quỹ đạo hành tinh ở một cực và vừa tiếp xúc với quỹ đạo khác ở cực kia. Quỹ đạo như vậy được gọi là quỹ đạo chuyển Hohmann và nó là quỹ đạo duy nhất cho mỗi cặp hành tinh. Chu kỳ của quỹ đạo đã biết và các điểm tiếp tuyến nằm ở hai đầu đối diện của trục chính. Do đó, thời gian phóng được quyết định bởi vị trí tương đối của các hành tinh. Vì trong thực tế có rất ít chỗ để điều chỉnh nên thường có một khoảng thời gian, được gọi là cửa sổ phóng để có thể phóng tàu trong thời gian đó.

Bài toán đạn đạo đòi hỏi phải xác định quỹ đạo hình elip lấy Trái đất làm tâm sẽ kết nối các điểm phóng và điểm mục tiêu. Đường đi thực tế sẽ là

một phần của hình elip phía trên bề mặt Trái đất. Thông thường hai điểm ít nhất có cùng khoảng cách với tâm Trái đất, nhưng Trái đất quay. Điều này đòi hỏi một quy trình tuần hoàn để ước tính thời gian di chuyển, cho phép thay đổi vị trí mục tiêu trong thời gian đó, cải thiện quỹ đạo, v.v.

NGUYỄN ĐÔNG ANH

Tài liệu tham khảo

1. R. R. Bate, D. D. Mueller, and J. E. White, *Fundamentals of Astrodynamics*, Dover, New York, 1971,
2. G. Beutler, *Methods of Celestial Mechanics*, 2 vols., Springer-Verlag, Berlin, 2005.
3. J. M. Danby, *Fundamentals of Celestial Mechanics*, 2nd ed., Willmann-Bell, US, 1988.
4. V. Szebehely and H. Mark, *Adventures in Celestial Mechanics*, 2nd ed., Wiley, New York, 1998.
5. M. Valtonen and H. Karttunen, *The Three-Body Problem*, Cambridge University Press, Cambridge, 2006.