



**BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO**  
**TRƯỜNG ĐẠI HỌC SƯ PHẠM THÀNH PHỐ HỒ CHÍ MINH**  
**KHOA VẬT LÝ**

**LÊ QUANG CHÂU**

**NGHIÊN CỨU KỸ THUẬT LIDAR TRONG**  
**VIỆC PHÂN TÍCH ĐẶC TÍNH ĐẶC TÍNH CỦA**  
**BỤI KHÍ QUYỂN**

**Ngành : Sư phạm Vật Lý**

**Mã số : 102**

**Giáo viên hướng dẫn**

**TS. Cao Anh Tuấn**

**Thành phố Hồ Chí Minh 2013**



## MỤC LỤC

|                                                                            |    |
|----------------------------------------------------------------------------|----|
| MỤC LỤC.....                                                               | 1  |
| Danh mục ký hiệu và chữ viết tắt.....                                      | 5  |
| Danh mục bảng biểu và sơ đồ .....                                          | 8  |
| Danh mục hình vẽ và biểu đồ.....                                           | 9  |
| PHẦN MỞ ĐẦU .....                                                          | 11 |
| PHẦN TỔNG QUAN .....                                                       | 14 |
| Chương 1                                                                   |    |
| NGUYÊN LÝ HOẠT ĐỘNG VÀ ỨNG DỤNG KỸ THUẬT LIDAR.....                        | 16 |
| 1.1. Nguyên lý hoạt động .....                                             | 16 |
| 1.2. Đo vận tốc ánh sáng .....                                             | 17 |
| 1.2.1. Sơ đồ khối.....                                                     | 17 |
| 1.2.2. Hoạt động.....                                                      | 17 |
| 1.2.3. Dụng cụ thí nghiệm .....                                            | 18 |
| 1.3. Vẽ địa hình trắc địa .....                                            | 21 |
| 1.3.1. Tổng quát .....                                                     | 22 |
| 1.3.2. Nguyên lý hoạt động.....                                            | 23 |
| 1.4. Khảo sát phân bố rừng .....                                           | 27 |
| 1.5. Hệ LIDAR khảo sát bụi khí quyển.....                                  | 28 |
| 1.5.1. Dụng cụ.....                                                        | 28 |
| 1.5.2. Nguyên lý hoạt động.....                                            | 30 |
| Chương 2                                                                   |    |
| BỤI KHÍ QUYỂN .....                                                        | 32 |
| 2.1. Các hạt sol khí trong khí quyển .....                                 | 32 |
| 2.2. Các loại sol khí tác động mạnh tới hệ thống khí hậu của Trái đất..... | 33 |

|                                                                                           |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.2.1. Sol khí núi lửa.....                                                               | 33 |
| 2.2.2. Bụi sa mạc.....                                                                    | 34 |
| 2.2.3. Sol khí tạo bởi con người.....                                                     | 35 |
| 2.2.4. Mục đích của nghiên cứu Sol khí của khí quyển.....                                 | 36 |
| 2.2.4.1. Sol khí tác động lên hệ thống khí hậu trái đất .....                             | 36 |
| 2.2.4.2. Tác động của Sol khí lên nhiệt độ bề mặt.....                                    | 37 |
| 2.2.4.3. Tác động của Sol khí lên mây và giáng thủy.....                                  | 37 |
| 2.2.4.4. Tác động của Sol khí<br>đến năng lượng bức xạ mặt trời đến bề mặt trái đất ..... | 38 |
| 2.2.4.5. Tác động của Sol khí đến hoàn lưu khí quyển.....                                 | 39 |

### Chương 3

|                                                                |    |
|----------------------------------------------------------------|----|
| LÝ THUYẾT LIDAR DÙNG CHO NGHIÊN CỨU SOL KHÍ.....               | 40 |
| 3.1. Lý thuyết tán xạ.....                                     | 40 |
| 3.1.1. Hiện tượng suy giảm cường độ .....                      | 40 |
| 3.1.2. Phổ suy giảm cường độ .....                             | 40 |
| 3.2. Tương tác của bức xạ laser với môi trường khí quyển. .... | 40 |
| 3.2.1. Quá trình hấp thụ .....                                 | 40 |
| 3.2.2. Sự tán xạ ánh sáng .....                                | 41 |
| 3.3. Phân loại các hiện tượng tán xạ .....                     | 42 |
| 3.3.1. Hiệu ứng tán xạ phân tử.....                            | 42 |
| 3.3.2. Hiệu ứng tán xạ Raman .....                             | 43 |
| 3.3.3. Tán xạ Rayleigh.....                                    | 43 |
| 3.3.4. Hiệu ứng tán xạ Mie .....                               | 44 |
| 3.3.5. Tán xạ quang học bởi sol khí.....                       | 45 |

|                                                                                         |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.4. LIDAR tán xạ ngược đàn hồi.....                                                    | 47 |
| 3.5. LIDAR Raman<br>và LIDAR quang phổ độ phân giải cao (HSRL) .....                    | 51 |
| 3.6. Xác định sự phân bố,<br>bán kính hiệu dụng và mật độ của hạt trong khí quyển ..... | 57 |
| Chương 4                                                                                |    |
| ỨNG DỤNG KỸ THUẬT LIDAR .....                                                           | 59 |
| 4.1. Phương pháp áp dụng.....                                                           | 59 |
| 4.2. LIDAR tán xạ đàn hồi .....                                                         | 61 |
| 4.2.1. Sơ đồ khối .....                                                                 | 61 |
| 4.2.2. Phương trình sử dụng.....                                                        | 62 |
| 4.3. LIDAR RAMAN.....                                                                   | 63 |
| 4.3.1. Sơ đồ khối .....                                                                 | 63 |
| 4.3.2. Phương trình sử dụng.....                                                        | 63 |
| 4.4. LIDAR hai chùm tia.....                                                            | 65 |
| 4.4.1. Sơ đồ khối .....                                                                 | 65 |
| 4.4.2. Phương trình sử dụng.....                                                        | 65 |
| 4.5. Số liệu thu được .....                                                             | 67 |
| 4.6. Hệ thống mạng LIDAR ở Châu Âu EARLINET-ASOS .....                                  | 70 |
| KẾT LUẬN .....                                                                          | 72 |
| KIẾN NGHỊ VỀ NHỮNG NGHIÊN CỨU TIẾP THEO .....                                           | 73 |
| TÀI LIỆU THAM KHẢO.....                                                                 | 74 |

## Danh mục ký hiệu và chữ viết tắt

Filter : Bộ lọc.

ADC : Bộ chuyển tín hiệu quang sang tín hiệu số.

MVT : Máy vi tính.

$C$  : vận tốc ánh sáng.

$\lambda$  : bước sóng ánh sáng.

$\beta$  : góc nghiêng máy bay.

$\gamma$  : góc lệch máy bay.

$\omega$  : góc xoay máy bay.

DEM : mô hình số độ cao.

DSM : mô hình số bề mặt.

$A$  : ma trận chuyển vị.

$I_0(\lambda)$  : cường độ chùm tia tới.

$I(\lambda)$  : cường độ chùm sáng thu.

$D(\lambda)$  : phổ suy giảm cường độ.

$\mu_a$  : hệ số hấp thụ dài.

$\alpha_{aer}$  : hệ số suy giảm của hạt.

$\alpha_{mol}$  : hệ số suy giảm của phân tử.

$K_\theta$  : hệ số tán xạ ánh sáng dưới góc tán xạ  $\theta$ .

$K_{aer}$  : hệ số tán xạ ngược của hạt.

$K_{\text{mol}}$  : hệ số tán xạ ngược của phân tử.

$V$  : thể tích tán xạ.

$R$  : khoảng cách từ thể tích tán xạ tới điểm quan sát.

$k$  : hằng số Boltzmann

$T$  : nhiệt độ tuyệt đối.

$\delta$  : hệ số nén động học của vật chất môi trường.

$\rho$  : mật độ môi trường.

$n$  : chiết suất môi trường.

$n_{\text{aer}}$  : chiết suất của hạt.

$\nu$  : tần số ánh sáng.

$N_0$  : mật độ hạt.

$r$  : bán kính hạt.

$m$  : chiết suất phức.

$Q_{\text{aer}}(r, m, \lambda)$  : hiệu suất tán xạ trên một hạt.

$N(r)$  : hàm phân bố hạt theo bán kính.

$n(r)$  : hàm mật độ hạt theo bán kính.

$\sigma$  : độ lệch chuẩn của hàm phân bố.

$P(R)$  : tín hiệu LIDAR thu được từ hiện tượng tán xạ.

$E_0$  : năng lượng phát xung laser.

$\eta_L$  : hằng số LIDAR.

$O(R)$  : hàm Overlap.

sr : đơn vị của góc khối.  $1 \text{ sr} = 1 \text{ m}^2, 1 \text{ m}^{-2} = 1$

$S(R)$  : biến hiệu chỉnh tín hiệu LIDAR theo khoảng cách.

$L_{\text{aer}}(R)$  : tỉ lệ LIDAR.

HSRL : LIDAR quang phổ độ phân giải cao.

GPS : Hệ thống xác định vị trí bằng vệ tinh nhân tạo.

TaiLieu.vn

## **Danh mục bảng biểu và sơ đồ**

|                                                                                                                       |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Sơ đồ 1.1. Một hệ LIDAR đơn giản.....                                                                                 | 15 |
| Sơ đồ 1.2. Thí nghiệm đo vận tốc ánh sáng bằng xung phản xạ.....                                                      | 16 |
| Sơ đồ 1.3. Hoạt động của Hệ thống trắc địa bằng kỹ thuật LIDAR .....                                                  | 23 |
| Sơ đồ 1.4. Hệ LIDAR khảo sát thành phần khí quyển.....                                                                | 27 |
| Bảng 3.1. Tỷ lệ LIDAR của các loại sol khí khác nhau<br>được đo bằng phương pháp LIDAR Raman ở bước sóng 532 nm ..... | 50 |
| Sơ đồ 4.1. Sơ đồ khối hệ LIDAR tán xạ đàn hồi ngược .....                                                             | 61 |
| Sơ đồ 4.2. Sơ đồ khối hệ LIDAR Raman.....                                                                             | 63 |
| Sơ đồ 4.3. Sơ đồ khối hệ LIDAR hai chùm tia .....                                                                     | 65 |



## Danh mục hình vẽ và biểu đồ

|                                                                                            |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Hình 1.1. Dao động kí âm cực .....                                                         | 18 |
| Hình 1.2. Máy phát xung laser .....                                                        | 18 |
| Hình 1.3. Thấu kính hội tụ .....                                                           | 19 |
| Hình 1.4. Gương phản xạ .....                                                              | 19 |
| Hình 1.5. Thí nghiệm đo vận tốc ánh sáng .....                                             | 20 |
| Hình 1.6. Hệ LIDAR vẽ trắc địa .....                                                       | 20 |
| Hình 1.7. Máy bay trắc địa bằng công nghệ LIDAR .....                                      | 22 |
| Hình 1.8. Khảo sát phân bố rừng .....                                                      | 26 |
| Hình 1.9. Các dụng cụ trong hệ LIDAR khảo sát khí quyển .....                              | 28 |
| Hình 1.10. Máy vi tính xử lý và phân tích tín hiệu LIDAR.....                              | 29 |
| Hình 1.11. Mô hình LIDAR mini.....                                                         | 30 |
| Hình 2.1. Hạt sol khí khác nhau trong khí quyển .....                                      | 31 |
| Hình 2.2. Núi lửa Pinatubo phun trào .....                                                 | 33 |
| Hình 2.3. Vị trí phân bố các hạt sol khí ở đô thị .....                                    | 35 |
| Hình 3.1. Cường độ ánh sáng tán xạ<br>phụ thuộc vào góc tán xạ trong tán xạ Rayleigh ..... | 43 |
| Hình 3.2. Cường độ sáng phụ thuộc vào góc tán xạ trong tán xạ Mie.....                     | 44 |
| Hình 4.1. Hệ số tán xạ ngược và hệ số suy giảm đo tại Nghĩa Đô, Hà Nội.....                | 67 |
| Hình 4.2. Hệ số tán xạ ngược,<br>hệ số suy giảm và tỉ lệ LIDAR đo được ở Ấn Độ dương.....  | 67 |

|                                                                      |    |
|----------------------------------------------------------------------|----|
| Hình 4.3. Các thông số của sol khí được đo vào ngày 04/04/1992 ..... | 68 |
| Hình 4.4. Mật độ sol khí thay đổi theo thời gian .....               | 69 |

TaiLieu.vn

# PHẦN MỞ ĐẦU

## 1. LÝ DO CHỌN ĐỀ TÀI

Công nghệ Laser được ứng dụng vào các ngành kỹ thuật từ những năm 60 của thế kỷ trước, trong trắc địa được áp dụng để đo khoảng cách bằng các máy đo dài cho độ chính xác tới mức centimeter. Cùng với thời gian sự phát triển vượt bậc của công nghệ định vị vệ tinh và công nghệ số, công nghệ Laser đã có những bước đột phá cả về thiết bị và công nghệ. Tới những năm cuối của thế kỷ trước và những năm đầu của thế kỷ 21, công nghệ LIDAR (Light Detecting and Ranging) hay còn gọi là công nghệ đo vẽ Laser đã phát triển mạnh mẽ và được áp dụng rộng rãi một cách rất hiệu quả trong công tác khảo sát địa hình, lập bản đồ không gian 3D và nhiều ứng dụng khác.

LIDAR bao gồm các phương pháp công nghệ tiên tiến trong lĩnh vực định vị vệ tinh, laser và ảnh số được kết hợp với nhau để xác định chính xác bề mặt địa hình của trái đất và các địa vật trên nó trong một hệ tọa độ không gian thống nhất.

Bụi khí quyển còn gọi là Sol khí đóng vai trò quan trọng trong nhiều quá trình của khí quyển. Mặc dù chỉ có một số thành phần nhỏ của khí quyển là có ảnh hưởng đáng kể vào lượng bức xạ của Trái Đất, tính chất, chất lượng của không khí, mây, mưa và các quá trình hóa học ở tầng bình lưu và tầng đối lưu.

Sự xuất hiện, thời gian tồn tại, tính chất vật lý, thành phần hóa học và các đặc điểm phức tạp của các hạt sol khí, cũng như tính chất quang học có liên quan đến khí hậu rất đa dạng ở tầng đối lưu bởi nguồn gốc tự nhiên khác biệt và các quá trình khí tượng. Do đó các phép đo theo độ cao để xác định các tính chất vật lý và quang học của hạt như mật độ hạt, khối lượng, kích thước và mức độ suy giảm của hạt. Để quan sát, đo đạc theo độ cao để xác định các thông số trên chỉ có thể được thực hiện bởi LIDAR.

Với những ứng dụng đầy tiềm năng và thực tiễn của phương pháp LIDAR, đồng thời hướng theo yêu cầu phát triển tương lai của khoa Vật Lý trường Đại học Sư Phạm Tp. Hồ Chí Minh trong việc xây dựng một hệ đo LIDAR liên kết với Viện Vật lý Hà Nội và hợp tác với các trung tâm LIDAR ở Pháp. Tôi chọn đề tài **“Nghiên cứu kỹ thuật LIDAR trong việc phân tích đặc tính của bụi khí quyển”** là một đề tài mới và mong muốn đóng góp vào sự phát triển của hệ đo LIDAR của Khoa Vật Lý trong tương lai.

## **2. MỤC ĐÍCH**

Mục đích chính của đề tài là tìm hiểu kỹ thuật LIDAR, nghiên cứu lý thuyết của phương pháp LIDAR, tìm hiểu một số ứng dụng cụ thể của kỹ thuật LIDAR và nghiên cứu ứng dụng kỹ thuật LIDAR trong quan sát phân tích đặc tính của bụi khí quyển.

## **3. ĐỐI TƯỢNG**

Nghiên cứu phân tích, tổng hợp từ những tài liệu, bài báo trong và ngoài nước, từ internet về kỹ thuật LIDAR.

## **4. PHẠM VI NGHIÊN CỨU**

- Tìm hiểu lý thuyết kỹ thuật LIDAR
- Xây dựng các bước chung cho một số ứng dụng kỹ thuật LIDAR
- Nghiên cứu ứng dụng kỹ thuật LIDAR trong việc quan sát phân tích đặc tính của bụi khí quyển
- Lập kế hoạch dự kiến xây dựng hệ đo sử dụng kỹ thuật LIDAR

## **5. Ý NGHĨA KHOA HỌC VÀ THỰC TIỄN ĐỀ TÀI NGHIÊN CỨU**

Qua đề tài nghiên cứu giúp chúng ta hiểu về kỹ thuật LIDAR, những ứng dụng cụ thể và ưu điểm của kỹ thuật. Đề tài là bước đầu giúp cho các bạn sinh viên tiếp tục nghiên cứu và phát triển kỹ thuật LIDAR áp dụng cho hệ đo LIDAR trong tương lai của khoa Vật lý.

## **6. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU**

Phương pháp nghiên cứu lý thuyết:

- Nghiên cứu các tài liệu liên quan đến kỹ thuật LIDAR.

Phương pháp nghiên cứu thực tiễn:

- Nguyên tắc hoạt động của bài thực hành đo vận tốc ánh sáng, ứng dụng ý tưởng trong kỹ thuật LIDAR
- Phân tích một số số liệu LIDAR thu được trong một số tài liệu, bài báo.

## PHẦN TỔNG QUAN

Trong trường hợp khảo sát khí quyển, một chùm sáng được chiếu vào môi trường khí quyển. Các photon trong chùm sáng đó bị tán xạ theo các hướng khác nhau bởi các phân tử và các hạt trong khí quyển. Một phần trong số đó bị tán xạ ngược trở lại hệ LIDAR. Các photon này được thu bởi một kính thiên văn và được hội tụ vào trong một bộ tách sóng quang để đo số photon tán xạ như là một hàm của khoảng cách giữa hệ LIDAR và các phân tử tán xạ.

Phương pháp LIDAR tán xạ đàn hồi đã được sử dụng rộng rãi để khảo sát thành phần đám mây và các lớp sol khí kể từ đầu những năm 1960 khi Fiocco và Grams lần đầu tiên báo cáo về LIDAR và nguồn gốc sol khí ở tầng bình lưu. Nhưng chỉ trong những năm gần đây thì công nghệ này mới tiến bộ đáng kể khi người ta đã thực hiện một số nghiên cứu định lượng các thông số, tính chất sol khí khí quyển bằng phương pháp LIDAR.

Dùng hai phương pháp quan trọng nhất để xác định các thông số chính từ quan sát LIDAR và cùng với các phương pháp vật lý khác để thu nhận các tính chất vật lý của sol khí ở tầng bình lưu và tầng đối lưu.

Kỹ thuật tính toán hệ số tán xạ đàn hồi nhờ tín hiệu quay trở lại với đặc điểm đàn hồi và tán xạ ngược trong hệ LIDAR. Phương pháp LIDAR tán xạ đàn hồi có thể xác định tổng số tán xạ trong khí quyển mà không cần tách bạch tín hiệu của hạt và phân tử bị tán xạ ngược trở lại. Hạn chế của phương pháp này là không xác định được thông số đáng tin cậy như mật độ hạt, hệ số suy giảm hạt. Hệ số suy giảm được suy ra từ hệ số tán xạ ngược.

Phương pháp LIDAR Raman hay LIDAR quang phổ độ phân giải cao (HSRL) có thể xác định trực tiếp hệ số suy giảm. Ngoài ra, phương pháp này có thể thu được giá trị của hệ số tán xạ ngược. Sol khí được khảo sát bằng LIDAR Raman hay HSRL được xác định bằng hai dòng tín hiệu, gồm tín hiệu của hạt và tín hiệu của phân tử.

Quá trình quét bằng kỹ thuật LIDAR là một kỹ thuật để xác định hệ số suy giảm theo phương thẳng đứng. Yêu cầu cần thiết nhất ở đây là các phép đo theo phương ngang phải có sự đồng nhất về hệ số tán xạ ngược và hệ số suy giảm theo tất cả các chiều cao đo. Phương pháp này ít được sử dụng, nhất là khi quan sát, đo đạc ở lớp biên của tầng đối lưu.

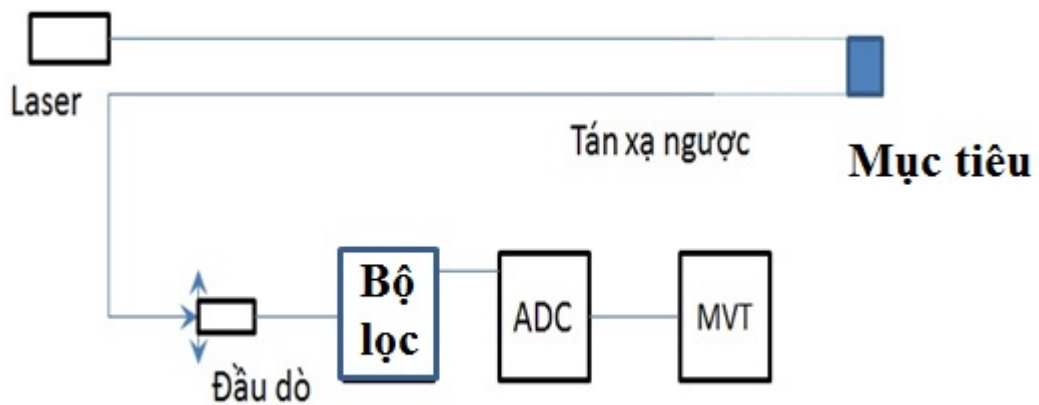
Do đồng thời hệ số suy giảm và hệ số tán xạ ngược tại cùng một bước sóng từ 300 đến 1100 nm là điều kiện quan trọng nhất để thu được kết quả chính xác của tính chất vật lý và quang học của các hạt ở tầng đối lưu. Sol khí ở tầng đối lưu trên các lục địa thường chứa hỗn hợp phức tạp các hạt có nguồn gốc tự nhiên (muối biển, bụi sa mạc, bụi núi lửa...) và nhân tạo (chủ yếu là Sunfat và muội than) nên các đặc tính riêng biệt vẫn rất khó tìm ra. Hơn nữa, do sự thay đổi của nguồn, sự ngưng tụ, trộn lẫn, sự di chuyển và quá trình phân hủy của sol khí nên kích thước hạt, chính xác là đường kính hạt thay đổi từ một vài nanomet đến vài micromet thường cho thấy một hình dạng phức tạp của hệ sol khí.

# Chương 1

## NGUYÊN LÝ HOẠT ĐỘNG VÀ ỨNG DỤNG KỸ THUẬT LIDAR

### 1.1. Nguyên lý hoạt động

Thuật ngữ LIDAR là viết tắt của cụm từ tiếng Anh “Light Detection And Ranging” dùng để chỉ một công nghệ thăm dò từ xa sử dụng bức xạ điện từ. Hệ thống LIDAR chính là một hệ thống laser cơ bản hoạt động trên nguyên tắc tương tự như một hệ radar hay sóng siêu âm.



Sơ đồ 1.1. Một hệ LIDAR đơn giản

Ta có thể giải thích nguyên lý hoạt động của LIDAR như sau: Nguồn Laser phát ra chùm tia định hướng cao về phía mục tiêu (target) và ghi nhận ánh sáng phản xạ ngược trở lại bằng đầu dò bức xạ quang học đặt sau bộ lọc đơn sắc tín hiệu quang học biến đổi thành tín hiệu điện, sau đó được đưa tới bộ lọc xung, qua bộ biến đổi tín hiệu tương tự sang tín hiệu số (ADC), các tín hiệu số được máy vi tính (MVT) xử lý.[7]

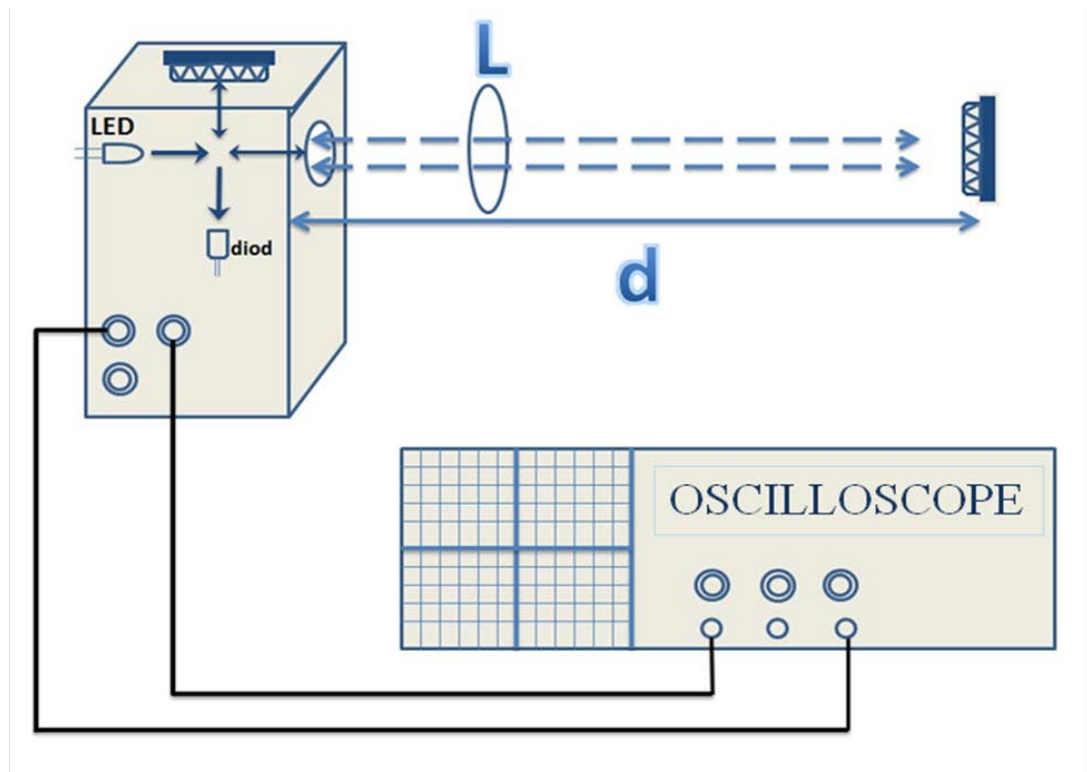
Tùy thuộc vào loại tương tác của tia laser với vật chất trong vùng khảo sát, LIDAR ghi nhận bức xạ tán xạ ngược trở về có thể là tín hiệu tán xạ Rayleigh, Mie, Raman. LIDAR thường được phân loại theo phổ tín hiệu mà nó ghi nhận được, ví dụ LIDAR Raman, LIDAR Rayleigh v.v...



## 1.2. Đo vận tốc ánh sáng

Nguyên lý sử dụng trong phép đo vận tốc ánh sáng giống hoàn toàn như một hệ LIDAR.

### 1.2.1. Sơ đồ khối



Sơ đồ 1.2. Thí nghiệm đo vận tốc ánh sáng bằng phương pháp xung phản xạ

### 1.2.2. Hoạt động

Dùng một cái đèn phát xung ánh sáng cực ngắn. Ta cho ánh sáng phát ra đi qua một kính bán mạ G:

- Một phần ánh sáng của xung phản xạ trên mặt gương G đập vào gương phản chiếu  $T_2$ . Tia phản xạ truyền ngược trở lại qua kính bán mạ G và đi vào một diode tiếp nhận ánh sáng. Ánh sáng này gây ra một xung điện ghi trên màn hình của dao động kí âm cực.

-Một phần ánh sáng của xung truyền khúc xạ qua kính bán mạ G và qua thấu kính hội tụ L, truyền thẳng đến một gương phản xạ  $T_1$ , đặt cách xa xung, đập vào và bị phản xạ ngược trở lại, truyền qua thấu kính L xuyên vào kính bán mạ G và phản xạ đi vào kính diode tiếp nhận, biến thành xung điện thứ hai ghi trên màn hình dao động kí âm cực.

Đo khoảng thời gian chênh lệch của hai xung ánh sáng  $\Delta t$ .

Đo quãng đường truyền chênh lệch d của ánh sáng ta suy ra vận tốc ánh:

$$C = \frac{2d}{\Delta t} \quad (1.1)$$

### 1.2.3. Dụng cụ thí nghiệm

-Bộ máy phát xung ánh sáng: có đèn phát xung, gương bán mạ G đặt nghiêng  $45^\circ$  và diode tiếp nhận ánh sáng.

-Thấu kính hội tụ L có  $f = 200\text{mm}$ .

-2 gương phản xạ  $T_1$  và  $T_2$ .

-Thước đo khoảng cách.

-Dao động kí âm cực để đo thời gian chênh lệch hai xung ánh sáng.



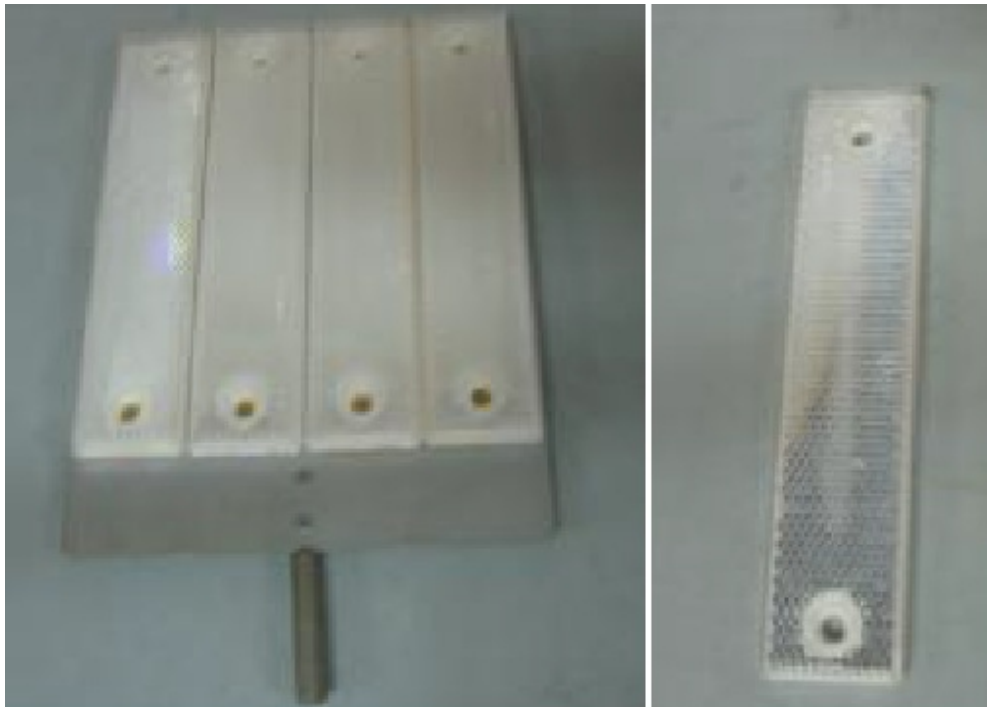
*Hình 1.1. Dao động kí âm cực*



*Hình 1.2. Máy phát xung laser*



*Hình 1.3. Thấu kính hội tụ*



*Hình 1.4. Gương phản xạ*