

《光学遥感》备考重点整理

2021 秋季学期 授课教师：李陶老师 整理者：徐小航

前言：

《光学遥感》是 19 级及其之前的空间物理专业选修课，为大四同学开设。该课程致力于为同学介绍各种光学遥感的基本原理，尤其侧重于激光雷达与主动大气光学遥感。这门课属于半科普性质，在课程中会讲解一些雷达的定量处理方法，但并不需要同学掌握任何的定量分析，只需要同学理解其基本原理，能够帮助同学了解激光雷达原理与遥感气象学基础，对空间物理部分方向的研究是有用的。学习该课程需要极少量的光学、电磁学、原子物理与量子物理知识，但这些知识都可以在学习该课程的过程中当场补充，并且基本不会考察，因此总体上学习该课程不需要前置知识。

2021 秋季学期，本课程的考核方式为：两次汇报各 30%，闭卷期末考试占 40%，其中第一次汇报为自己定题，只要与光学遥感有关即可；第二次汇报是老师为你指定遥感方向的经典论文进行汇报。由于该课程授课内容远大于考试范围，许多学习该课程的同学在期末备考中会毫无头绪。《重点整理》旨在为大家期末备考提供一个思路，在《重点整理》中会提出同学应对期末考试需要搞懂的一些问题，其中许多问题不会给出解答，需要同学自己结合该课程的课件搞懂。需要注意，该课程不会考察课件之外的东西，我也会附上这些问题的答案在哪一讲的课件里；另外我也不建议过于依赖《重点整理》，因为这不是官方的考点范围。此外，在《重点整理》的最后，附上了 2021 秋季学期《光学遥感》课程的期末考试真题，供同学们复习参考用。

从 2020 级开始，《光学遥感》会变成高级替代课程《遥感技术》，增加无线电遥感部分，并将在三年级秋季学期学习，但新课程的光学遥感部分基本不变，因此《重点整理》仍然能为新课程光学遥感部分的复习提供参考。希望《重点整理》能够尽可能的为以后的同学提供帮助。最后，感谢李陶老师精彩的授课，也感谢一些学长对《重点整理》编纂提供的帮助。

2020 级 少转地空 徐小航

2021.12



备考重点

1. 遥感的基本概念：什么是遥感、主动/被动遥感的区分、常见主动遥感系统的区分 (LIDAR/RADAR/SONAR) 及其特征、地球大气的分层、卫星轨道类型。(LECTURE 1)
2. 了解激光器的组成结构 (激励机制、激光工作物质、光学处理系统) 及其特征 (同相位同频率、高定向性、能量集中)。了解能级翻转的基本概念。(LECTURE 5)
3. 理解散射、散射截面与后向散射的概念。(LECTURE 3)

4. 理解光与大气相互作用的六种常见形式：

Rayleigh Scattering 瑞利散射 (LECTURE 2)

Mie Scattering 米散射 (LECTURE 2)

Raman Scattering 拉曼散射 (LECTURE 3)

Resonance Scattering 共振散射 (LECTURE 3)

Fluorescence 荧光 (LECTURE 3)

Absorption 吸收 (LECTURE 3)

牢记六种作用发生于大气的什么成分上、散射光子与入射光子的波长大小关系 (是否为弹性散射)、后向散射截面的数量级、散射截面大小与波长的关系。此外需要了解一些散射导致的基本大气现象，例如说天空的颜色等等。(LECTURE 6)

5. 理解辐射传输方程及其每一个项的物理含义：

$$\frac{dJ(\nu, z)}{dz} = \epsilon(\nu, z) - \alpha(\nu, z)J(\nu, z) \Leftrightarrow \frac{dJ}{d\tau} = S - J$$

J 为辐射度、 ϵ 为单位立体角的自发辐射系数、 κ 是消光系数、 S 是源函数、 τ 为光学厚度。其中：

$$S(\nu, z) \equiv \frac{\epsilon}{\kappa}, \tau(\nu, l) \equiv \int_0^l \kappa(\nu, z) dz$$

对于均匀介质有 $\tau(\nu, l) = \alpha(\nu)l$ ， l 为介质厚度。若介质未激发， $\epsilon(\nu) = 0$ ；若无外部辐射， $J(\nu, 0) = 0$ 。此外需要了解

消光系数、光学厚度、大气 (前/后向) 透射率的概念是尤为重要的。(LECTURE 5)

6. 了解 Beer-Lambert 定律：对于晴空下的准直光束，受激辐射 $\epsilon(\nu)$ 可以忽略不计，解得：

$$I(\nu, l) = I(\nu, 0)e^{-\int_0^l \alpha(\nu, z) dz}$$

该定律由辐射传输方程解出，了解该定律有助于理解基本雷达方程。(LECTURE 5)

7. 牢记单脉冲基本雷达方程，理解其中每一项的意义：

$$N_s(\lambda, z) = N(\lambda_L) \cdot \xi(z)\eta(\lambda_L, \lambda) \cdot T(\lambda_L, z) \cdot \beta(\lambda_L, \lambda, z, \theta)\Delta z \cdot T(\lambda, z) \cdot \frac{A}{z^2} + N_B$$

其中 λ_L 代表激光波长， λ 代表回波波长；

$N_s(\lambda, z)$ 是光子计数器所记录到的高度 z 返回的波长为 λ 的后向散射光子数；

$N(\lambda_L)$ 是激光器发射的光子数，可以用公式：

$$N(\lambda_L) = \frac{E(\lambda_L)}{hc/\lambda_L}$$

计算，其中 $E(\lambda_L)$ 代表激光器发射光能；

$\xi(z)\eta(\lambda_L, \lambda)$ 分别是重叠因子与系统效率，取决于硬件， ξ 也会用 O 表示；

$T(\lambda_L, z)$ 是大气中激光光子的前向透射率；

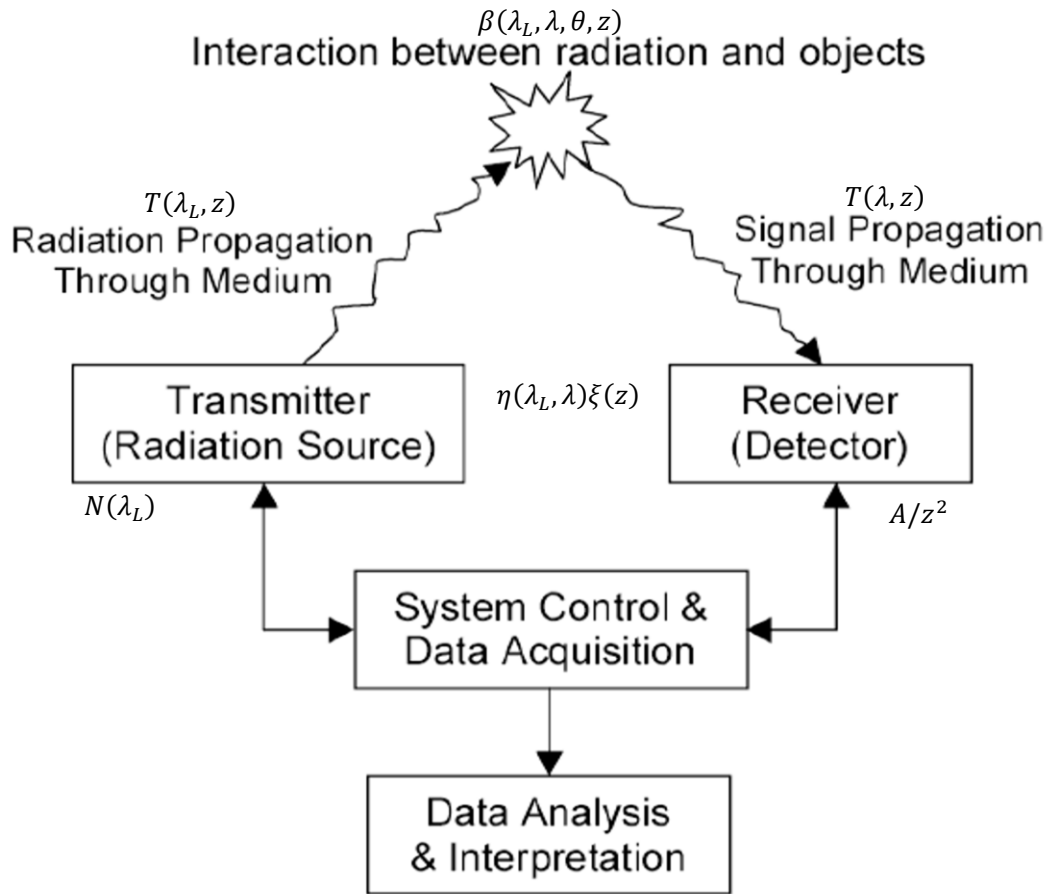
$\beta(\lambda_L, \lambda, z, \theta)\Delta z$ 是透射光子在高度范围 Δz 内向每个立体角散射 λ 波长光子的概率；

$T(\lambda, z)$ 是大气中回波光子的后向透射率；

A/z^2 是散射光子被望远镜收集到的概率，即立体角， A 为望远镜接收面积；

N_B 是噪声，主要有背景噪声、PMT 暗计数与电路散粒噪声。

下图有助于理解该公式与主动大气激光雷达的原理：



*体积散射系数 $\beta(\lambda_L, \lambda, z, \theta)$ 的计算：

$$\beta(\lambda_L, \lambda, z, \theta) = \sum_i \left(\frac{d\sigma_i(\lambda_L, \theta)}{d\Omega} n_i(z) p_i(\lambda) \right)$$

其中 i 代表大气的不同成分；

$d\sigma_i(\lambda_L, \theta) / d\Omega$ 是物质 i 在散射角 θ 的微分散射截面；

$n_i(z)$ 是物质 i 的粒子数密度；

$p_i(\lambda)$ 是散射光子为 λ 的概率；

体积散射系数 β 是穿越单位距离的一个光子向角 θ 散射 λ 光子的概率，单位为 $m^{-1}rad^{-1}$ 。

*前向与后向透射率的计算：

$$T_F = T(\lambda_L, R) = \exp\left(-\int_0^R \alpha(\lambda_L, r) dr\right), T_B = T(\lambda, R) = \exp\left(-\int_0^R \alpha(\lambda, r) dr\right)$$

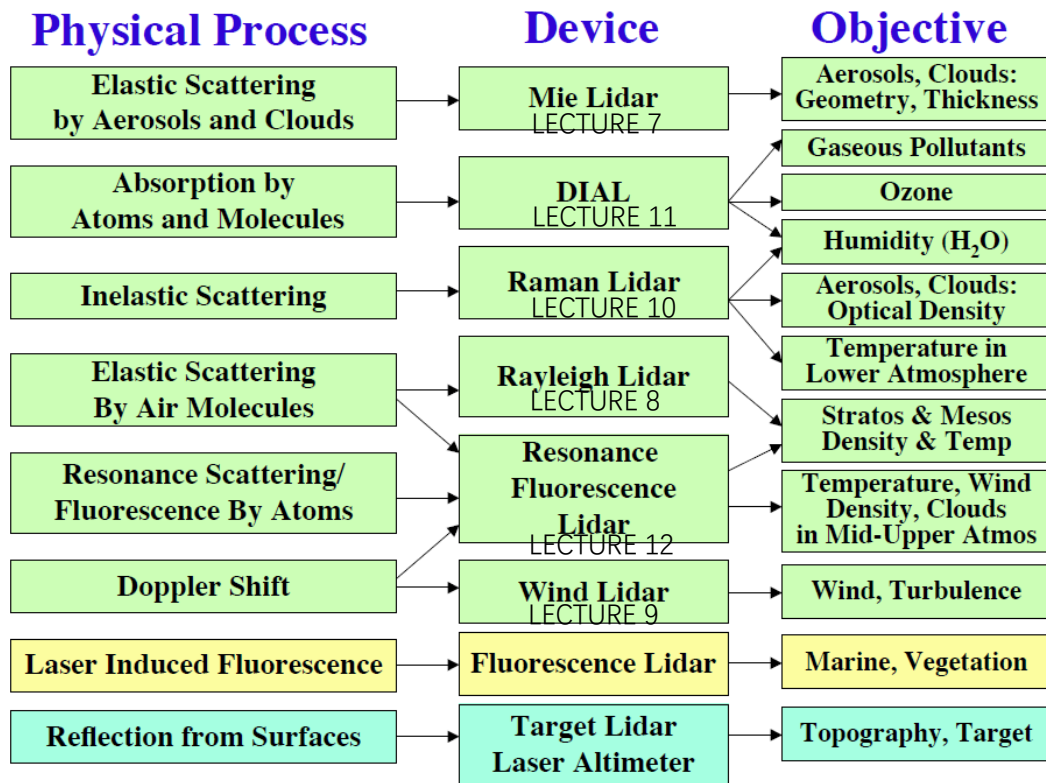
α 为消光系数，单位为 m^{-1} 。消光系数又可以表示为：

$$\alpha(\lambda, R) = \sum_i (\sigma_{i,ext}(\lambda) n_i(R))$$

$$\sigma_{i,ext}(\lambda) = \sigma_{i,abs}(\lambda) + \sigma_{i,sca}(\lambda)$$

$\sigma_{i,ext}(\lambda)$ 是物质 i 的消光截面， $\sigma_{i,abs}(\lambda)$ 是吸收截面， $\sigma_{i,sca}(\lambda)$ 是散射截面。根据物质 i 的分类，又可以把 α 分为气溶胶 α_{aer} 和分子 α_{moi} 两部分。(LECTURE 6)

8. 牢记下图，记住以下提到的常见激光雷达种类及其用途与测量利用的物理过程。



另外，需要掌握前六种雷达以及 HSRL 雷达 (LECTURE 7) 的基本原理，包括该种雷达最少需要发射几个波长的光 (为什么)，以及这种雷达的测量物理量是通过影响基本雷达方程的哪一项使得这种雷达能够测量待测目标的。(LECTURE 6)

9. 谱线的三种加宽机制：自然展宽、压力展宽、Doppler 展宽。需要记住三者的产生原因、谱线线形与半波带宽量级。

10. 了解机载雷达与星载雷达的优缺点与仪器设计要求。(LECTURE 13)

11. 了解卫星雷达常用轨道类型。(LECTURE 15)

2021 秋季学期《光学遥感》期末考试试卷 (总分 40 分)

1. (10 分) 在光与大气的作用中:

- (1) 写出常见的散射作用名称。
- (2) 将这几种散射根据后向散射截面的数量级从大到小排列。
- (3) 指出哪些是弹性散射, 哪些是非弹性散射。
- (4) 解释为什么晴朗的天空是深蓝色的。
- (5) 那为什么到了日出或日落, 天空变成了红色呢?

2. (10 分) 在主动大气遥感中:

- (1) 主动大气光学遥感是怎么分辨回波信号来源的 (以脉冲式为例)? 并指出如何判断信息是否来自于 $z = 80 \text{ km}$ 。
- (2) 为什么探测器测得的 Doppler 频移是 v/λ 的 2 倍? 其中 v 是径向风速。
- (3) 在利用 DIAL 雷达测量大气微量气体浓度时, 微量气体浓度影响了雷达方程中的哪个项?
- (4) 写出常见的频率加宽机制, 并指出它们的半波带宽的数量级 (例如 GHz, MHz)。
- (5) 对于 100km 高处 Na 层的 Na 原子, 哪种频率加宽机制是最主要的?

3. (20 分) 下图是激光大气雷达涉及的物理过程。请根据下图写出单脉冲基本雷达方程, 并解释其中各项的含义。

