

Комиссия по мезосферным облакам
межведомственного геофизического комитета
при Президиуме АН СССР

Институт оптики атмосферы СО АН СССР

Томский государственный университет
им. В. В. Куйбышева

ФИЗИКА МЕЗОСФЕРНЫХ ОБЛАКОВ

Тезисы регионального совещания по физике
мезосферных облаков

ИЗДАТЕЛЬСТВО ТОМСКОГО УНИВЕРСИТЕТА
Томск—1971

ПЕРЕНОС СОЛНЕЧНОЙ РАДИАЦИИ В МЕЗОСФЕРНЫХ ОБЛАКАХ

О. А. АВАСТЕ

(Институт физики и астрономии АН ЭССР)

Рассматриваются средние интенсивности и потоки в мезосферных облаках. Оптическая толщина сферического слоя облаков задается как случайная функция. По заданному закону распределения оптических толщин вычисляются характеристики радиационного поля в зависимости от угла визирования, зенитного угла Солнца и масштаба усреднения. Показано, что при статистических неоднородностях в оптической толщине система рассеивает меньше радиации, чем система, где оптическая толщина является статистической средней. Анализируется эффект осреднения при различных расстояниях приемника от слоя облачности в зависимости от апертурного угла приемника.

ПРЕДЕЛЬНЫЕ ОЦЕНКИ СОДЕРЖАНИЯ ВОДЯНОГО ПАРА В МЕЗОСФЕРЕ

С. Д. АНДРЕЕВ, В. Н. КОНАШЕНОК

(Ленинградский госуниверситет)

На основе анализа экспериментальных данных о количестве водородосодержащих соединений в стратосфере, мезосфере и термосфере предлагаются предельные модели распределения водяного пара в атмосфере. Рассмотрены теоретически физические условия, необходимые для реального осуществления найденных модельных распределений.

ВОЗМОЖНОСТЬ СОДЕРЖАНИЯ МОДИФИЦИРОВАННОЙ ВОДЫ В СЕРЕБРИСТЫХ ОБЛАКАХ И ОБЛАКАХ ВЕНЕРЫ

В. А. БРОНШТЕН

(Центральный Совет ВАГО, Москва)

1. Обнаруженная Б. В. Дерягиным и Н. Н. Федякиным модифицированная вода (МВ) отличается от нормальной воды рядом свойств, в частности, имеет плотность $\delta = 1,40 \text{ г/см}^3$, показатель преломления $m = 1,48$ (место 1,33), имеет меньшую упругость насыщенного пара и т. д. Однако в природе до сих пор МВ обнаружена не была.

2. При изучении облаков Венеры астрономы встретились с рядом трудностей при определении их хим. состава, хотя в атмосфере Венеры прямыми и спектральными методами обнаружен водяной пар, а температура на уровне облаков $235\text{--}240^\circ\text{К}$. гипотеза о водной природе облаков встречает затруднения:

а) полосы H_2O в ИК-спектре у 1,5 и 2,0 мк слабы и проявляются плохо (у 2,0 мк блеиндирует сильная полоса CO_2). Теория и эксперименты показывают, что это возможно при уменьшении размеров частиц до 1 мк с точки зрения физики облаков;

б) показатель преломления, определенный Коффином по поляризации света Венеры, лежит в пределах $m = 1,43 \div 1,55$ и не может быть равен 1,33;

в) данные о температуре, давлении и содержании H_2O трудно совместимы между собой (T слишком высока, q и P слишком малы). Белтон, Хантен и Гуди по полосе H_2O 8189 нашли $P \leq 0,5 \text{ атм}$, $qP = 2,7 \text{ см}\cdot\text{атм}$ (в облаке), $T_{\text{эфф}} = 270^\circ\text{К}$, $M = 4,0$ (число $\text{см}\cdot\text{атм}$ на длине своб. пробега λ). $q = 10^{-4} \text{ г/г}$ (при $P = 0,1 \text{ атм}$). Но „Венеры“ нашли содерж. $\text{H}_2\text{O} = 0,05\%$ по всей толщине, т. е. $q = 5 \cdot 10^{-4} \text{ г}$, а в облаках $2\text{--}11 \text{ м/л}$, т. е. $q = (1 \div 5,5) \cdot 10^{-3} \text{ г/г}$, или в 10—50 раз больше, чем у Белтона и др.

3. Если считать, что облака Венеры состоят из капель и кристаллов льда МВ, то:

а) спектральные характеристики облаков должны быть другими. Полосы МВ по Беллами и др. слабее, чем у нормальной воды (НВ) — у 1,5 и 2,0 мк;

б) показатель преломления прекрасно совпадает с найденным для МВ;

в) поскольку МВ имеет более низкую упругость насыщенного пара, ее образование облегчается даже при невысоких парциальных давлениях.

4. Остается неясным, почему в условиях Венеры МВ образуется, а в условиях Земли — нет. Однако последнее тоже еще не доказано (см. ниже).

5. Противники водяной природы облаков Венеры не могут назвать вещество, из которого могли бы состоять облака. В разное время были названы следующие вещества: CO_2 , C_3O_2 , 4^{cl} , углеводороды, CH_2O ,

и др.

Однако из CO_2 невозможны при таких высоких температурах, а остальные в-ва не обнаружены спектральным анализом, несмотря на все поиски.

6. В земной атмосфере, на высоте 80 км плавают т. и. серебристые или мезосферные облака. По многим данным они состоят из кристаллов льда. А именно:

а) серебристые облака занимают узкий пояс высот 75—90 км, где осуществляется условие

$$E < qP$$

(E — упругость насыщ. пара, q — концентрация, P — давление);

б) это условие осуществляется только летом в средних широтах, т. е. там и тогда, где и когда появляются серебристые облака;

в) американо-шведские эксперименты позволили «захватить» частички, часть которых оказалась окружена «гало» из льда;

г) определения поляризации соответствуют ледяным частицам субмикронных размеров;

д) структура облаков близка к структуре перистых облаков, состоящих из ледяных кристаллов.

7. Предположение о возможном наличии льда из МВ в серебристых облаках опирается на следующие факты:

а) масс-спектральный анализ позволил обнаружить на тех же высотах ионы вида $(\text{H}_2\text{O})_n \text{H}^+$ ($n = 1, 2$), а также ион с массовым числом 72 (предположительно $(\text{H}_2\text{O})_1^+$);

- б) более низкая упругость насыщенного пара МВ облегчает процесс образования кристаллов льда из МВ;
- в) активационный барьер для образования МВ понижается с понижением давления.

8. Для проверки этой гипотезы необходимо:

- а) провести ИК-наблюдения спектра серебристых облаков;
- б) продолжать ракетные эксперименты с масс-спектрометром в зоне серебристых облаков;
- в) продолжать поляризационные наблюдения на разных длинах волн;
- г) поставить эксперименты с МВ в условиях, близких к условиям атмосферы Венеры, т. е. в «атмосфере» из CO_2 при соответствующих давлениях и температурах;
- д) аналогичные эксперименты провести в условиях образования серебристых облаков, т. е. при низких температурах и давлениях;
- е) получить данные об ИК-спектре МВ вблизи 1,5 и 2,0 мк.

ОБ ИНДИКАТРИСЕ РАССЕЯНИЯ СВЕТА В МЕЗОСФЕРНЫХ ОБЛАКАХ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ФИЗИЧЕСКИХ МОДЕЛЯХ

Ч. И. ВИЛЛМАНН

(Институт физики и астрономии АН ЭССР)

Рассматривается рассеяние света в мезосферных облаках при различных физических моделях этих облаков. Исходными параметрами этих моделей являются:

- радиус частицы $r_1 \leq r \leq r_2$,
где $r_1 > 2,5 \cdot 10^{-6}$ см
 $r_2 \leq 2,5 \cdot 10^{-4}$ см;
- распределение частиц в облаках $N \sim A r^{-x}$,
где $3 < x < 4$;
- физико-химический состав частиц характеризуется следующими коэффициентами преломления:
 $m_1 = 1,29 \div 1,33 + i$ (50% из общего состава),
 $m_2 = 1,55 + i$ (25% из общего состава),
 $m_3 = \infty$ (25% из общего состава).

Ограничивающими условиями были взяты:

$$\tau \leq 1$$

$$\lambda = 0,2 \div 6,0 \mu$$

$$\frac{r}{\lambda} \lesssim 1; \quad \frac{l}{\lambda} \gg 1,$$

где l — расстояние между частицами в облаке.

Исходными формулами являлись

$$f(v) = [\sigma_1^*(v) + \sigma_2^*(v)],$$

где

$$\sigma_1^*(v) = s\sigma_{1s}(v) + t\sigma_{1t}(v) + u\sigma_{1u}(v)$$

$$\sigma_2^*(v) = s\sigma_{2s}(v) + t\sigma_{2t}(v) + u\sigma_{2u}(v)$$

$$\sigma_1(v) = \frac{\int_{z_1}^{z_2} x^{-z} i_1(x, v) dx}{\int_{z_1}^{z_2} x^{-z} dx}$$

$$\sigma_2(v) = \frac{\int_{z_1}^{z_2} x^{-z} i_2(x, v) dx}{\int_{z_1}^{z_2} x^{-z} dx},$$

где $z = \frac{2\pi r}{\lambda}$, i_1 и i_2 — формулы Ми.

Также рассматриваются вопросы прозрачности и оптической толщины мезосферных облаков.

О ПЫЛИ МЕТЕОРНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ В АТМОСФЕРАХ ЗЕМЛИ И МАРСА

В. А. ВОРОБЬЕВ, Е. Н. КРАМЕР, И. С. ШЕСТАКА

(Одесский госуниверситет)

Получена зависимость скорости и времени выпадения метеорной пыли от размеров и плотности метеорных частиц.

Обращается внимание на возможное метеорное происхождение пылевых облаков и запыленности атмосферы Марса.

ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МЕЗОСФЕРНОЙ ПЫЛИ ПО СУМЕРЕЧНЫМ НАБЛЮДЕНИЯМ

Н. Б. ДИВАРИ

(Одесский политехнический институт)

Представлены результаты исследований оптических свойств мезосферы и ее пылевой компоненты. Исследования проведены на основании фотометрических измерений сумеречного свечения. Получены индикатрисы рассеяния и коэффициент рассеяния на различных высотах в области от 30 до 130 км над земной поверхностью.

ИНДИКАТРИСЫ РАССЕЯНИЯ МЕЗОСФЕРНОЙ ПЫЛИ

Н. Б. ДИВАРИ

(Одесский политехнический институт)

Представлены индикатрисы рассеяния пыли, находящейся на высотах 80—120 км, полученные по фотоэлектрическим измерениям сумеречного неба. Кроме пылевых индикатрис найдены суммарные наблюдаемые газопылевые индикатрисы для области углов рассеяния от 35 до 165°.

Полученные индикатрисы использованы для определения коэффициента рассеяния на разных высотах мезосферы. Результаты представлены в виде отношений Σ/Σ_R наблюдаемого коэффициента рассеяния Σ к вычисленному релеевскому коэффициенту рассеяния Σ_R . Полученные результаты сравниваются с опубликованными результатами исследований, проведенных другими методами.

О ЛАЗЕРНОМ ЗОНДИРОВАНИИ МЕЗОСФЕРНЫХ ОБЛАКОВ

В. Е. ЗУЕВ

(Институт оптики атмосферы СО)

Лазерное зондирование является новым дистанционным методом исследования атмосферы, который объединяет радиолокационные принципы с оптическими, понятиями рассеяния. Метеорологический лазерный локатор-лидар стал мощным орудием для исследования концентраций и оптических параметров атмосферы.

Разработка импульсного лазера способствовала значительному прогрессу в применении импульсной световой техники. Мощный лазерный локатор уже занял прочное место в практической метеорологии в США.

Первые исследования верхней атмосферы (наблюдение за мезосферными облаками) с помощью лидара на рубиновом лазере были проведены летом 1963 г. В дальнейшем лазерная техника, быстро совершенствующаяся, нашла широкое применение в различных атмосферных исследованиях. Цель настоящего доклада— описать основной лидарный метод, дать обзор работ, в которых демонстрируется успешное применение лидара, наметить дальнейшие возможности лидара для исследования свойств верхней атмосферы.

К ВОПРОСУ О ЧИСЛЕННЫХ МОДЕЛЯХ ИНДИКАТРИС РАССЕЯНИЯ СЕРЕБРИСТЫХ ОБЛАКОВ В ВИДИМОЙ И ИНФРАКРАСНОЙ ЧАСТИ СПЕКТРА

В. Е. ЗУЕВ, Г. М. КРЕКОВ, В. Ф. БЕЛОВ

(Институт оптики атмосферы СО АН СССР)

На основе имеющихся литературных данных делается попытка построения физической модели мезосферных облаков. Осуществлен ряд расчетов полидисперсных индикатрис рассеяния в видимой и инфракрасной части спектра с целью их использования в задачах математического моделирования процессов переноса излучения в верхних слоях атмосферы. Расчеты выполнены на основе электромагнитной теории Ми.

О ВЕРОЯТНОСТНО-СТАТИСТИЧЕСКОЙ ОЦЕНКЕ СВЕТОВОГО СИГНАЛА, ОТРАЖЕННОГО ВЕРХНИМИ СЛОЯМИ АТМОСФЕРЫ

В. Е. ЗУЕВ, Г. М. КРЕКОВ, А. И. ПОПКОВ

(Институт оптики атмосферы СО АН СССР, Томск)

Рассматриваются вопросы, связанные со статистическим моделированием экспериментов, направленных на изучение структуры светового поля при рассеянии лазерных импульсов мезосферными облаками. Теоретический подход к данной проблеме с точки зрения решения интегро-дифференциального уравнения переноса весьма затруднителен. Поэтому представляется целесообразным выяснить возможности математического моделирования для целей прогноза и анализа экспериментов по лазерному зондированию мезосферы.

Обсуждаются трудности задания корректной модели рассеивающей среды в указанных условиях. Исследуются различные модифицированные алгоритмы метода Монте-Карло с целью выбора их оптимального сочетания для выбранного класса задач. Приводятся алгоритмы расчета, возможные для учета различных физических факторов, и делаются оценки их эффективности.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАССЕИВАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ МЕЗОСФЕРЫ ПО ПОЛЯРИЗАЦИОННЫМ НАБЛЮДЕНИЯМ ПОЛЮСА ВО ВРЕМЯ СУМЕРЕК

Ю. И. ЗАГИНАЙЛО

(Одесский политехнический институт)

Поляризационные измерения сумеречного неба в Полюсе Мира проводились с целью определения рассеивающей способности мезосферы. Измерения проводились в 1968—1969 гг. на ст. Маяки Одесской астрономической обсерватории ($\phi = 46^{\circ}24' N$; $\lambda = 2^{\circ}01' E$).

Для измерения использовался электрофотометр, оптическая схема которого построена по схеме Фабри-

Измерения поляризации сумеречного неба проводились при трех положениях полярона, отстоящих друг от друга на 120° .

от друга на 60° . Поворот полярона на 60° осуществлялся автоматически при помощи мальтийского механизма. Измерения в Полюсе Мира проводились в трех участках спектра ($0,58, 0,53$ и $0,37 \text{ мкм}$).

Значения яркостей сумеречного неба получены в абсолютных единицах.

Выделены яркости первичных сумерек по методу В. Г. Фесенкова. Определена рассеивающая способность мезосферы на различных высотах. Полученные результаты сравниены со значениями рассеивающей способности мезосферы, найденными по наблюдениям яркостей сумеречного неба в вертикале Солнца, а также по наблюдениям поляризации в точке $z = 70^\circ, A = 30^\circ$ к югу от вертикали Солнца.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ИНДИКАТРИС РАССЕЯНИЯ ВОДНОГО АЭРОЗОЛЯ

Б. А. САВЕЛЬЕВ, В. Я. ФЛДЕЕВ

(Институт оптики атмосферы, г. Томск)

В работе рассматриваются вопросы методики и аппараты для исследования индикатрис рассеяния света водного аэрозоля в области длин волн $0,3 \div 1 \text{ мкм}$, а также некоторые предварительные результаты, полученные в Большой аэрозольной камере института экспериментальной метеорологии г. Обнинска.

КОЭФФИЦИЕНТЫ ОСЛАБЛЕНИЯ СВЕТА СФЕРИЧЕСКИМИ ЧАСТИЦАМИ С КОМПЛЕКСНЫМ ПОКАЗАТЕЛЕМ ПРЕЛОМЛЕНИЯ

А. Н. ЛАТЫШЕВ, С. Н. ЛАТЫШЕВА

(Воронежский госуниверситет)

С помощью электронно-вычислительной машины получена зависимость фактора эффективности ослабления света сферическими частицами с комплексным показа-

телем преломления и парциальных волн от параметра
 $\rho = \frac{2\pi a}{\lambda} m$ (где a — радиус частиц, λ — длина волны света в вакууме, m — показатель преломления среды, окружающей частицы). Учитывались все парциальные волны, амплитуда которых была не менее $10^{-5} \div 10^{-7}$. На кривой ослабления света частицами с определенным значением показателя преломления обнаружены резонансные максимумы, которые с ростом ρ затухают. Сделана попытка связать каждый из максимумов с определенным типом мультипольного излучения. Проведено сравнение найденного эффекта с ранее известным эффектом мелкомасштабных осцилляций («рябь») на кривой ослабления света частицами с действительным показателем преломления. Обсуждается вопрос о проявлении осцилляций кривой ослабления в виде некоторой структуры коллоидной полосы ослабления света металлическими частицами. Подробно рассмотрен вопрос о точности расчета коэффициента ослабления света мелкими частицами на электронно-вычислительных машинах.

КОСМОФИЗИЧЕСКИЕ СВЯЗИ МЕЗОСФЕРНЫХ ОБЛАКОВ

Н. В. ВАСИЛЬЕВ, Н. П. ФАСТ

(Томский госуниверситет, Томское отделение ВАГО)

Мезосферные облака наблюдаются в слое атмосферы, играющем особую роль в реализации ряда геофизических эффектов (отражение радиоволны, сгорание метеоров). В связи с этим представляется достаточно вероятным предположение о связи их не только с чисто метеорологическими, но и с космофизическими явлениями.

На основании анализа глобального наблюдательного материала за лето 1964 года рассматривается вопрос о возможности корреляционных связей между некоторыми параметрами вторичного космического излучения и появлением мезосферных облаков. Высказывается предположение о наличии таких связей, которые, однако, выявляются непостоянно.

Сопоставляется динамика мезосферных облаков и свечения ночного неба летом 1964 года. По-видимому, существует довольно отчетливая положительная корреляция между появлением серебристых облаков и свечением ночного неба в области линий $\lambda = 6700 \text{ \AA}$ и NaD. Приводятся материалы, свидетельствующие о наличии летом 1963 года, по материалам наблюдений в Томске, положительной корреляции между появлением мезосферных облаков и спорадического слоя E_s. Однако эта корреляция выявляется не всегда.

На примере «светлых ночей» лета 1908 года рассматривается вопрос о роли космической пыли в генезе мезосферных облаков. Авторы склоняются в пользу метеорно-конденсационной теории происхождения се-серебристых облаков.

К ВЫЯВЛЕНИЮ ПОЛЕЙ ВИДИМОСТИ МЕЗОСФЕРНЫХ ОБЛАКОВ МАТЕМАТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

А. О. ВЕСТФЛЬ, В. Г. ФАСТ

(Томский государственный университет, НИИПММ, Томское отделение ВАГО)

Поле видимости мезосферных облаков рассматривается как изотропное однородное поле, принимающее в точках наблюдения значения 0 (мезосферных облаков нет) или 1 (есть мезосферные облака). Найдена корреляционная функция этого поля. Расчет значений поля в точках, где отсутствуют наблюдения, производится по экстраполяционным формулам, минимизирующими средний квадрат ошибки экстраполяции.

Приводятся экстраполяционные картины полей видимости мезосферных облаков на территории Советского Союза, построенные на основании данных существующей сети наблюдательных пунктов.

О ПРИРОДЕ МЕЗОСФЕРНЫХ (СЕРЕБРИСТЫХ) ОБЛАКОВ

Г. М. МАРТЫНКЕВИЧ

(ЦАО Гидрометеослужбы СССР, Москва)

Кратко сопоставляются пространственно-временные характеристики мезосферных облаков и полярных сияний, подчеркивается их большое сходство и почти полное отсутствие различий.

Излагаются те из новейших результатов исследования мезо- и термосферы, выполненных многими и, прежде всего, прямыми методами, которые позволяют наиболее последовательно объяснить с единой точки зрения сходство пространственно-временных характеристик мезосферных облаков и полярных сияний, природу и происхождение мезосферных облаков. Для объяснения природы мезосферных облаков, в первую очередь, привлекаются экспериментальные данные о вертикальном распределении водяного пара. Приводятся аргументы в пользу внеземного происхождения части водяного пара в мезо- и термосфере. Последовательно развивается точка зрения, согласно которой мезосферные облака состоят из молекулярных комплексов типа $(H_2O)_n$ или $(H_2O)_n H^+$ ($n = 1, 2, 3\dots$), образованных главным образом из молекул H_2O внеземного происхождения.

Предлагается цепочка реакций, приводящая к образованию молекул H_2O из протонов солнечного происхождения и приводятся оценки скоростей некоторых из этих реакций.

ИССЛЕДОВАНИЕ РАССЕИВАЮЩИХ СВОЙСТВ ДВУСЛОЙНЫХ ПЫЛЕВЫХ ЧАСТИЦ

Л. В. РЕЗНОВА

(Одесский политехнический институт)

Представлены результаты вычисления факторов эффективности ослабления, рассеяния, поглощения и давления света для сферических частиц графита и железа, покрытых концентрической оболочкой воды.

Вычисления проведены на ЭЦВМ «Минск-22» по точным формулам теории Ми для комплексных показателей преломления, зависящих от длины волны.

Рассмотрены различные значения внешнего радиуса частицы и радиуса оболочки.

О ВЫЧИСЛЕНИИ ТЕМПЕРАТУРЫ ПЫЛЕВЫХ ЧАСТИЦ

Л. С. ТРОФИМОВА

(Одесский политехнический институт)

Обсуждаются метод и результаты вычислений температуры пылевых частиц межпланетного пространства. Вычисления проводились по формуле Ван де Хюлста. Фактор эффективности поглощения вычислялся по точным формулам теории Ми. Вычисления проведены для сферических частиц кремния, графита и льда с показателем преломления, зависящим от длины волны. Сделана оценка точности определения температуры.

РАКЕТНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СЕРЕБРИСТЫХ ОБЛАКОВ

А. В. ФЕДЫНСКИЙ

(ЦАО Гидрометслужбы СССР)

Ракетные исследования внесли значительный вклад в изучение структуры серебристых облаков (СО), условий их образования и существования. Анализ имеющихся ракетных данных позволяет надеяться, что в сочетании с наземными методами ракетные измерения в зоне появления СО могут дать исчерпывающие сведения об особенностях температурных и ветровых полей на высотах 70—100 км, о природе частиц СО, их происхождении и структуре, о связи с другими параметрами атмосферы и, возможно, прогнозировать появление СО. Однако для достижения этих целей требуется целый ряд усилий.

О ПЛАНИРОВАНИИ КОЛОРИМЕТРИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ СЕРЕБРИСТЫХ ОБЛАКОВ С ОРБИТАЛЬНЫХ КЛА

К. А. ЭЭРМЕ

(Институт физики и астрономии АН СССР)

Обсуждаются основные возможные способы наблюдения СО с КЛА в зависимости от цели наблюдения (фотометрическая регистрация явления или подробное фотометрическое или колориметрическое исследование поля СО).

Прогнозика результатов наблюдения в зависимости от орбитальных параметров, временей года, географической широты наблюдаемых участков поля СО и диапазона чувствительности прибора.

Методика составления подробной программы наблюдений в ходе полета КЛА (заключается в определении оптимальных начальных моментов и необходимых длительностей сеансов наблюдения).

Порядок обработки результатов наблюдения (зависимости поток излучения — направление и поверхностная яркость — структура поля СО).