**Транспортные процессы и введение в плазменную аэродинамику**

**Бычков В.Л. д. ф.-м. наук, в.н.с.**

**18 часов**

**5 или 6 курс**

Тема 1. Уравнения движения газа как сплошной среды. Основные понятия и определения. Основные положения гидроаэромеханики и плазменной аэродинамики. Методы описания движения жидкости (методы Лагранжа и Эйлера). Основные кинематические понятия и определения. Преобразование выражения ускорения в форме Лэмба – Громеко. Соотношения для интегралов гидродинамических величин. Закон сохранения гидродинамической величины.

Тема 2. Уравнения законов сохранения вещества и источников вещества. Уравнение неразрывности. Уравнение, выражающее закон количества движения. Закон сохранения энергии. Закон сохранения момента импульса.

Тема 3. Сжимаемая жидкость. Гидромеханика идеальной жидкости. Интегралы системы уравнений гидромеханики идеальной жидкости. Адиабата. Интеграл Бернулли. Преобразование выражения ускорения в форме Лэмба – Громеко. Уравнения Эйлера в форме Громеки- Лэмба. Потенциальные или безвихревые движения. Уравнения для потенциала скоростей. Интеграл Лагранжа. Интеграл Эйлера- Бернулли. Уравнения для потенциала скоростей.

Тема 4. Гидродинамическое подобие. Сходственные пространственно-временные точки. Запись уравнений гидромеханики вязкой жидкости в безразмерном виде. Подобие установившихся течений. Общие выражения для сил и аэродинамических коэффициентов.

Тема 5. Одномерное течение идеальной сжимаемой жидкости. Линеаризированные уравнения. Скорость распространения малых возмущений в жидкости или газе. Изотермическая и адиабатическая скорости звука. „Конус возмущений" при сверхзвуковом движении источника возмущения. Число М и его связь с углом конуса возмущений. Движение газа в трубе. Сопло Лаваля.

Тема 6. Общие свойства движения вязкой жидкости. Основные уравнения. Необратимость движения вязкой жидкости. Завихренность течений вязкой несжимаемой жидкости. Диссипация механической энергии в вязкой жидкости. Постановка задачи об отыскании одномерных течений вязкой жидкости. Установившееся движение между двумя параллельными плоскостями. Движение вязкой жидкости в круглой трубе. Уравнения Стокса. Обтекание сферы при малых числах Рейнольдса. Парадокс Стокса. Уравнения Озина.

Тема 7. Поверхности разрыва. Ударная адиабата. Ударные волны в политропном газе. Прохождение слабых ударных волн по ионизованному газу.

Тема 8. Вихревые движения идеальной жидкости. Основные определения и результаты кинематического характера. Сохранение вихревых свойств. Возникновение и исчезновение вихрей в идеальной жидкости. Уравнение для вихря. Определение вектора скорости по вихрю и дивергенции.

Тема 9. Физическая кинетика газа и плазмы. Кинетическое уравнение Больцмана. Макроскопические уравнения газа. Уравнение состояния газа.

Тема 10. Феноменологическое определение коэффициентов переноса. Явления переноса в газе и плазме. Перенос частиц в газе. Перенос энергии в газе. Перенос импульса в газе. Теплопроводность за счет внутренних степеней сво­боды. Подвижность частиц. Соотношение Эйнштейна (Таунсенда). Уравнение Навье — Стокса. Уравнение переноса тепла. Диффузионное движение частиц.

Тема 11. Явления переноса заряженных частиц в слабоионизованном газе. Подвижность заряженных частиц. Проводимость слабоионизованного газа. Амбиполярная диффузия. Подвижность ионов в чужом газе. Подвижность ионов в собственном газе. Рекомбинация ионов в плотном газе. Элементарные и транспортные процессы в плазме воздуха при высоких давлениях. Ионизационные процессы в ионосфере и их связь с грозовой атмосферой.

Тема 12. Влияние ионизованного газа на поток газа. Влияние прохождения слабых ударных волн на кинетику элементарных процессов в пучковой плазме в азоте.

Тема 13. Плазменные струи. Гидродинамика плазменных струй. Капиллярный разряд. Аэродинамика капиллярного разряда. Коронный разряд. Аэродинамика коронного разряда. Вихревой плазменный генератор.

Тема 14. Технологии, использующие различные формы газоразрядных и электронно-пучковых устройств для плазменной аэродинамики. Создание плазмы на поверхности летательных аппаратов. Создание плазмы в двигателях летательных аппаратов.

Литература

1. Валландер С.В. Лекции по гидроаэромеханике. Изд-во ЛГУ. Ленингград. 1978.
2. Гинзбург И.П. Аэрогазодинамика. Изд-во Высшая школа. Москва. 1966.
3. Лойянский Л.Г. Механика жидкости и газа. Наука. Москва. 1987.
4. Смирнов Б.М. Физика слабоионизованного газа. М. Наука. 1985.
5. Смирнов Б.М. Введение в физику плазмы. М. Наука. 1982.
6. Абрамович Г.Н.– Прикладная газовая динамика. Издание 4-е. М.: Н[аука](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9D%D0%B0%D1%83%D0%BA%D0%B0_%28%D0%B8%D0%B7%D0%B4%D0%B0%D1%82%D0%B5%D0%BB%D1%8C%D1%81%D1%82%D0%B2%D0%BE%29). 1976.
7. Райзер Ю.П. Физика газового разряда. М.: Наука, 1987, 591с.
8. Бычков В.Л., Васильев М.Н., Коротеев А.С. Электроннно-пучковая плазма: генерация, свойства, приложения. Москва. Изд-во МГОУ «Росвузнаука». 1993. 168с
9. Ardelyan N.V., Bychkov V.L., Bychkov D.V., Kosmachevskii K.V. Chapter 3. Electron-beam and mom-selfmaintained driven plasmas for PAC. In Plasma assisted combustion, gasification and pollution control. Vol.1. Ed. I.B. Matveev. Outskirts press. Denver, Colorado. 2013. P. 183-372.
10. Ardelyan N., Bychkov V., Kosmachevskii K., Chuvashev S., Malmuth N.Modeling of Plasmas in Electron Beams and Plasma Jets. AIAA 2001-3101 Proc. 32-nd AIAA Plasmadynamics and Lasers Conference and 4 th Weakly Ionized gases Workshop 11-14 June 2001, Anaheim, CA.(15 P).
11. Бычков В.Л., Гордеев О.А., Преображенский А.Н. Влияние прохождения слабых ударных волн на кинетику элементарных процессов в пучковой плазме в азоте. Химическая физика. 1993. Т.12. № 5, С.609-612.
12. Александров А.Ф., Бычков В.Л., Бычков Д.В., Волков С.А., Костюк А.А. Черников В.А. Электродинамические особенности взаимодействия коронного разряда с поверхностью жидкости. Вестник Московского университета. Сер.3. 2011, № 4, с. 67-74.
13. Ardelyan N. V., Bychkov V. L., Bychkov D. V., Denisiuk S. V., Kosmachevskii K. V. Non selfmaintained gas discharge for flammable gases impact. Химическая физика, 2012, том 31, № 2, с. 48–60.
14. Ardelyan N. V., Bychkov V. L., Kosmachevskii K. V. Chapter 2. Numerical modeling of hot jets utilized by DC plasma generators for PAC. In plasma-assisted combustion, gasification and pollution control: combustion and gasification. Vol.2. Ed. I.D. Matveev. Outskirt press. Denver, Colorado. 2015. P. 90-139.
15. [Ardelyan](http://ieeexplore.ieee.org/search/searchresult.jsp?searchWithin=%22Authors%22:.QT.Nikolay%20V.%20Ardelyan.QT.&newsearch=true) N.V., [Bychkov](http://ieeexplore.ieee.org/search/searchresult.jsp?searchWithin=%22Authors%22:.QT.Vladimir%20L.%20Bychkov.QT.&newsearch=true) V.L., [Kosmachevskii](http://ieeexplore.ieee.org/search/searchresult.jsp?searchWithin=%22Authors%22:.QT.Konstantin%20V.%20Kosmachevskii.QT.&newsearch=true) K.V. On Electron Attachment and Detachment Processes in Dry Air at Low and Moderate Constant Electric Field. [IEEE Transactions on Plasma Science](http://ieeexplore.ieee.org/xpl/RecentIssue.jsp?punumber=27&source=authoralert). 2017. V. 45, N.12. P.3118-3124. DOI: [10.1109/TPS.2017.2773021](http://ieeexplore.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?arnumber=8119296&source=authoralert)
16. Арделян Н. В., Бычков В. Л., Голубков Г. В., М. Г. Голубков, Космачевский К. В. Влияние грозовой активности на параметры плазмы воздуха в ионосфере. Химическая физика. 2018, том 37, № 7, с. 59–64.
17. Bychkov V., Chernikov V., Deshko K., Goryachkin P., Mikhailovskaya T., and Shvarov A. Interaction of corona discharge plasma with a disperse media. J. Phys. Conf. series.2020. **1560**. 012070. Doi: 10.1088/1742-6596/ 1/012070