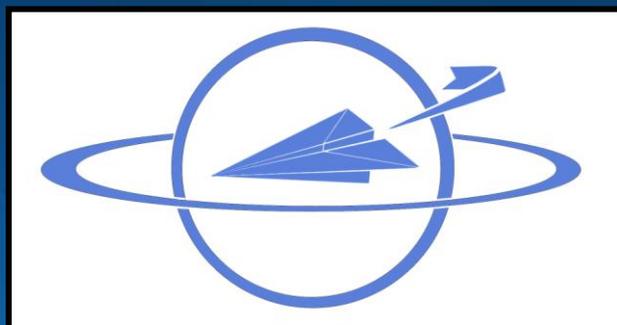




Группа изучения планетраной авиации
Московского Авиационного Института



Полет летательных аппаратов в
атмосферах планет Солнечной системы

Веселинов Недислав Светославов
Шишкин Владслав Васильевич
Сычев Алексей Вячеславович
Вълков Стефан Цветанов

1. Введение

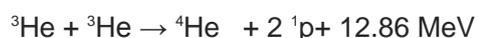
Авиация и география не ограничивается просторами земли, так же как и астрофизика не ограничивается солнечной системой. В солнечной системе существует восемь планет и множество их спутников. Огромное разнообразие новых миров и множество вопросов существует вокруг них. Возможность раскрыть тайны о механизме существования, истории и динамике этих миров дало бы человечеству огромное количество информации, которое можно было бы использовать для поиска и изучения экзопланет и новых ресурсов такие как He-3. Сейчас мы имеем возможность получать информацию только с помощью орбитальных и наземных телескопов и редко при помощи космических кораблей.

Может быть человечеству ждет новая эпоха «Великих географических открытий»? Наше человечество все еще пытается сделать новый маленький шаг вперед. На данный момент известны не все механизмы взаимодействия не только в земной атмосфере, но и атмосферах других планет Солнечной системы. Особенно это относится к газовым гигантам, поскольку они находятся очень далеко и их изучение представляет серьезная проблема.

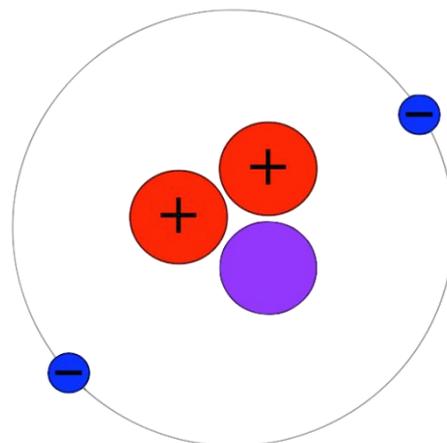
Впереди море вопросов, не имеющих ответов, несмотря на то, что человечество уже достигло необходимой технической грамотности для исследования множества научных тем, среди которых: полет в атмосфере газовых гигантов, запуск стратостата.

Исследование открытых источников информации в интернете показало, что внимание научной общественности не было привлечено к детальному изучению полетов ЛА во внешних планет солнечной системы – газовых гигантов. К ним относятся Юпитер, Сатурн, Уран и Нептун. Большинство экзопланет, открываемые на сегодняшний день - газовые гиганты. Следовательно, детально изучая газовые гиганты нашей Солнечной системы, мы приблизимся к пониманию процессов, происходящих на газовых гигантах других систем.

Существует еще один существенный вопрос. В атмосферах газовых гигантов изобилирует изотоп He-3. Он является перспективным топливом для термоядерных реакторов и термоядерных двигателей. 30т этого ресурса хватит что-бы решить энергетические проблемы человечества в год используя экзотермальные реакции:



Существует группа ученых и инженеров работающие под проектом фонда Tau Zero



и Британского межпланетного общества – проект ИКАР (<http://www.icarusinterstellar.org/>). Проект предполагает создание космического корабля с термоядерным двигателем, который развивает скорость 15-20% от скорости света. Осуществления подобного проекта означает, что можем достичь соседние звезды в течение нескольких десятилетий, что невозможно с использованием химических двигателей.

Планеты, условия на которых мы будем рассматривать – это Юпитер, Сатурн, Уран и Нептун. Весь их объем занимают различные газы и жидкости, уплотняющиеся при приближении к центру планеты.

Цель этого исследования - дать основные термины и представления об условиях полета ЛА, который сможет стабильно совершать полет в атмосфере газового гиганта и проводить его изучение.

2. Условия полетов

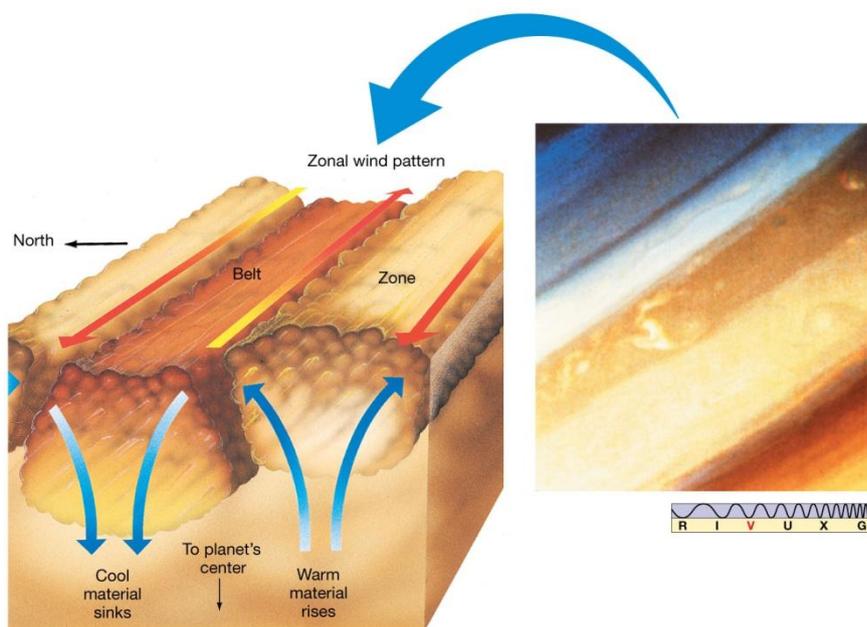
Юпитер



Ускорение свободного падения на Юпитере равно $24,79 \text{ м/с}^2$, что чуть более чем в 2,5 раза больше, чем на Земле. Вторая космическая скорость $59,5 \text{ км/с}$.

Атмосфера Юпитера в основном состоит из молекулярного водорода (86,4% по числу частиц) и гелия (13,6% по числу частиц или 23,8% по массе). Количество других примесей невелико. Кроме водорода и гелия, в атмосфере присутствуют: метан (0,21%), аммиак, сероводород, водяной пар, фосфин, продукты фотоллиза метана (в основном этан) и инертные газы.

Визуально у Юпитера ярко выражена полосатая структура. Последовательно чередуются светлые и темные полосы. Светлые – «зоны», темные – «пояса». Зоны - антициклоничные, текут на восток в областях около полюсов и на запад в областях, прилегающих к экватору. Пояса текут в обратную сторону. Их цвета меняются со временем, но вопрос появления подобного окраса и как это связано с ветрами, пока не ясно. Вероятно, окрас связан с химическим составом облаков. Аммиак, сероводород и вода - бесцветны, но сера, фосфор и органические составляющие могли бы создать подобный оттенок. Зоны более предсказуемы, в отличие от поясов, особенно в северном полушарии. Большинство атмосферных особенностей (бури, циклоны, антициклоны) стабильнее и долговечнее, чем в поясах.



Облачный покров в зонах находится выше чем в поясах, и соответственно разница давлений между ними может достигать до нескольких сот миллибар. Из-за большого количества газообразного аммиака в зонах, температура в верхней части низкая.

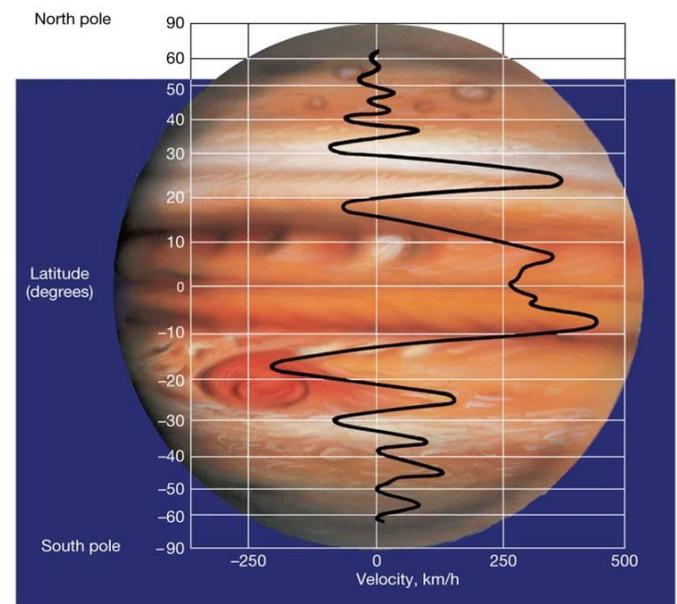
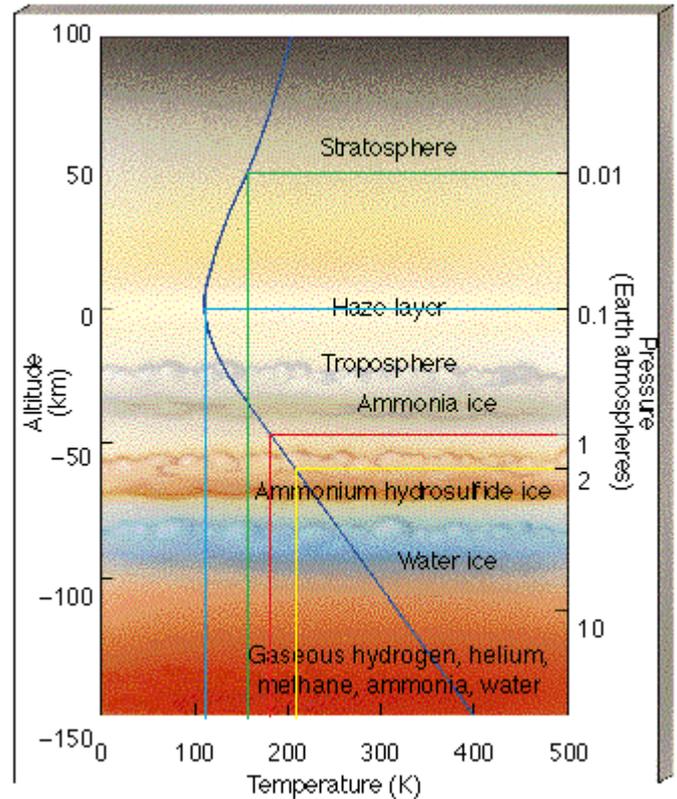
Пояса, с другой стороны, имеют более глубокие облака. Это места с активными конвективными

Рисунок 1

событиями, которые, иногда растут до огромных высот, и при этом вращаются вокруг планеты. SEB (South Equatorial Belt) и NEB (North Equatorial Belt) это места с интенсивной конвективной активностью - бури с молниями, которые развиваются в высоких и тонких облаках, удваивают свою площадь меньше чем за пол дня. Так как эти данные были получены методом наблюдения за ростом бури через телескоп, ученые могли судить только о площади поверхности, накрываемой бурей. Скорее всего, данный процесс так же интенсивен и в отношении роста объема, но механизм развития этих облаков пока что не ясен.

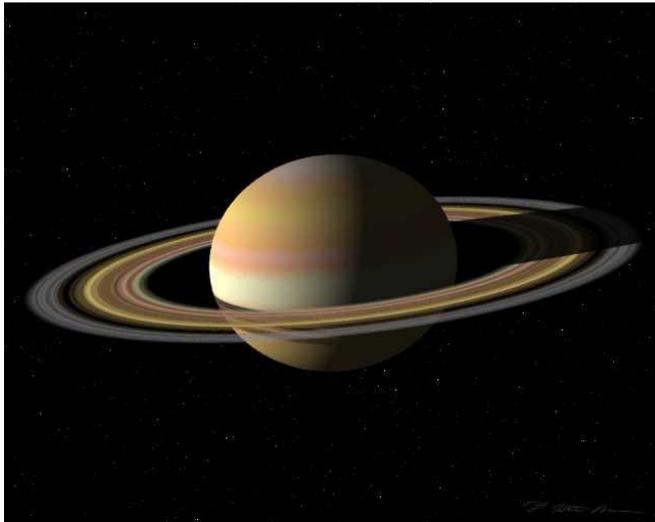
Следует заметить, что восходящие потоки в зоне нельзя назвать строго вертикальными. Они идут под углом к горизонту в направлении вращения зоны вокруг планеты и к краю, стекая в пояса и спускаясь вниз. Таким образом, для полета пригодна только область зоны, максимально удаленная от обоих ее краев, где восходящие потоки имеют наименьшее отклонение в стороны поясов.

Так же, мы можем использовать для полета лишь верхние слои зоны, где не очень высоко атмосферное давление. На земле мы отсчитываем высоту от уровня моря, который является условным нулем. На Юпитере за подобный условный нуль мы примем высоту, на которой давление будет равно 1 атм. и назовем его *нулевым уровнем*. Соответственно, высоту, ниже нулевого уровня будем считать отрицательной, а выше - положительной. [23]



© 2011 Pearson Education, Inc.

Сатурн



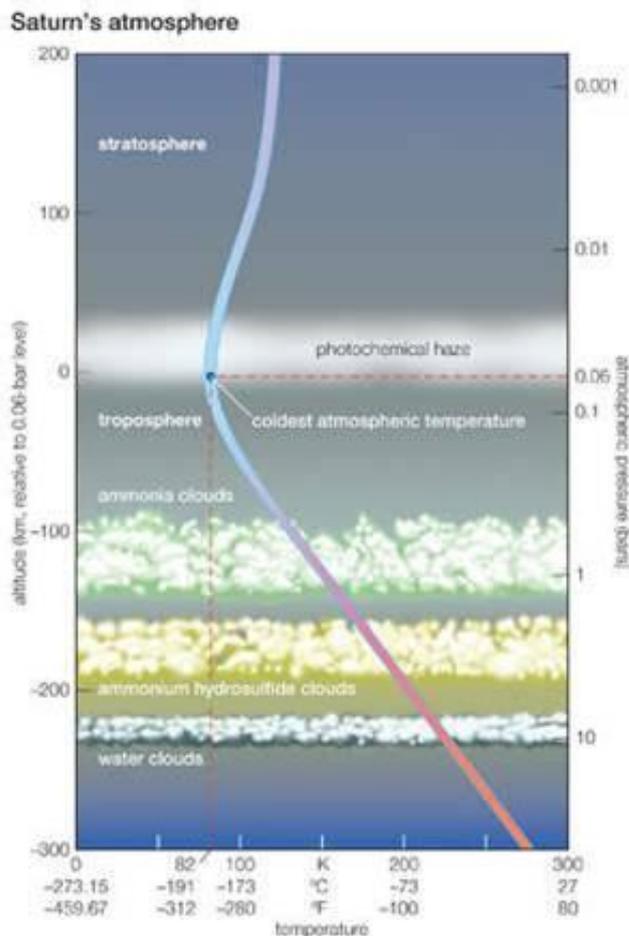
Ускорение свободного падения на Сатурне примерно равно земному, $10,44\text{ м/с}^2$. Вторая космическая скорость $35,5\text{ км/с}$.

Атмосфера Сатурна в основном состоит из водорода (89%) и гелия (около 11%).

Основную разницу между Юпитером и Сатурном представляет наклонение их осей вращения (3.1 градусов и 26.7 соответственно). Из-за этого в верхних слоях тропосферы и в стратосфере на Сатурне, на динамику атмосферы серьезное влияние оказывает сезонность солнечного нагрева.

Земля, благодаря своей частичной облачности, позволяет космическим аппаратам видеть ее сквозь атмосферу. В этом сильное отличие от нее планет гигантов. Они покрыты густым слоем облаков, который не позволяет непосредственно наблюдать за процессами, происходящими в нижних слоях атмосферы. В атмосфере Сатурна никогда не было зондов для непосредственного исследования.

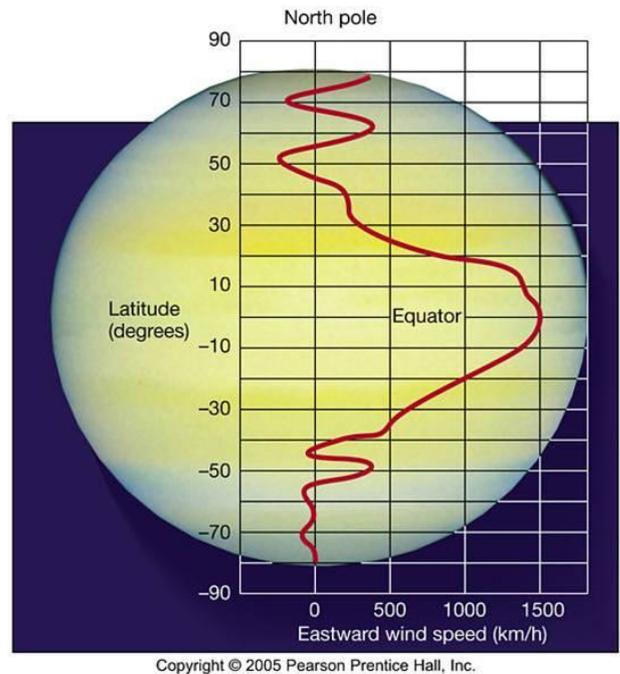
Сатурн находится достаточно далеко от Солнца и его атмосфера является относительно стабильной и предсказуемой. Появление новых местных атмосферных возмущений – редкость. (features).



Детальное изучение атмосферы Сатурна сложнее, чем атмосферы Юпитера. Любые возмущения холоднее (следовательно, эмиссия в ИК диапазоне меньше) и имеют меньший контраст, что требует значительно больше времени, чтобы получить информацию.

В атмосфере Сатурна, как и в атмосфере Юпитера, действуют сильные конвективные процессы, обусловленные переносом тепла с внутренних более горячих

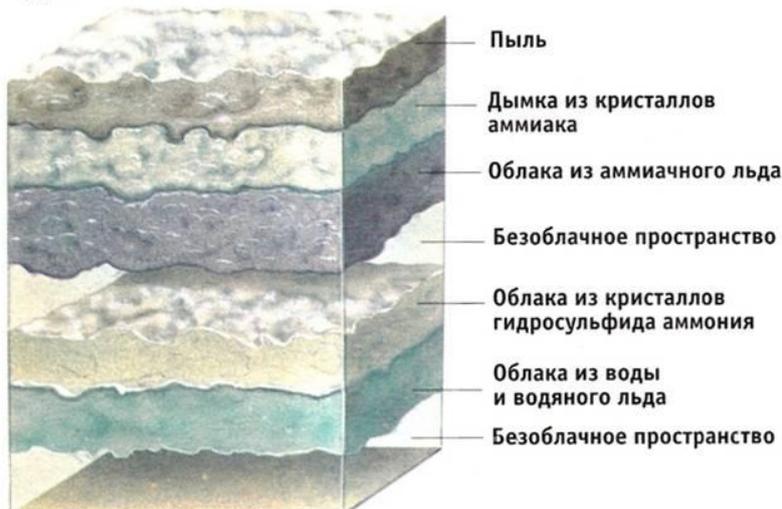
слоев наружу. Тепловые потоки относительно стабильны, и они определяют визуальную „скованность“ атмосферы. Как и Юпитер, Сатурн тоже имеет полосатую структуру с мощным потоком в экваториальной области, движущимся на восток с скоростью около 450 м/с, и более тонкими полосами, движущимися с различными скоростями и в разных направлениях вне экваториальной зоны. Эта информация была получена с помощью космических кораблей Вояджер 1 и Вояджер 2 [РИС. 1].



После анализа данных, полученных ИК спектрометром IRIS, установленным на Вояджере, в верхних слоях тропосферы (при давлении в 130-270 мбар) были замечены (Achterberg and Flasar 1996) термальные волны планетарного масштаба. Предположительно, это экваториальные волны Россби. Долгие наблюдения в ИК диапазоне, сделанные с помощью земных средств наблюдения, показывают полугодовые (14,8 лет) температурные осцилляции в нижних слоях стратосферы, что, возможно, связано с сменой сезонов на планете (Orion et al. 2008; sec. 7.3.7.2).

То, что Сатурн имеет активные облачные структуры ниже верхних амьчных облаков, связано с открытием темных пятен на разных широтах, излучающие в диапазоне 5 мкм (Yanamandra-Fisher et al. 2001). Длительное наблюдение этих пятен с 1994 по 2002 показало сильное снижение скорости экваториального потока, в то время как скорость потоков в других широтах осталась неизменной (Sanchez-Lavega et al. 2003, 2004b). Похожие результаты показали и мульти-спектральные замеры ветра с КК Касини.

Атмосфера Сатурна



Термо-химические модели показывают наличие трех основных облачных покровов в верхней тропосфере (Weidenschilling and Lewis 1973):

- 1) Верхний аммиачный (NH_3), состоящий из мелких ледяных кристаллов, существующий при давлении около 1 бар
- 2) Слой аммиачного гидросульфида (NH_4SH), при давлении около 3-4 бар
- 3) Водяной слой, с давлением около 8-10 бар

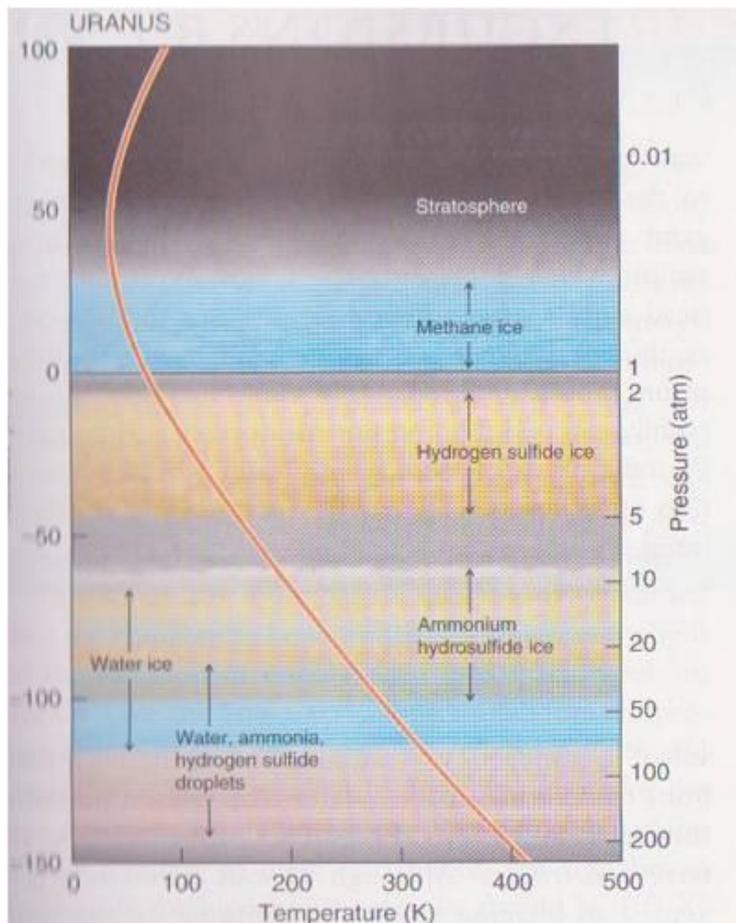
Их положение нельзя определить с большой точностью, так как неизвестно распределение конденсационных ядер. Эти данные часто интерпретируют как наличие обширных облачных покровов, но наблюдения поведения земных облаков намекают на более сложную картину. Carlson et al. (1988) изучали микрофизику облаков газовых гигантов. Они заключили, что NH_3 и NH_4SH облака на Сатурне относительно тонкие и наверное являются эквивалентом земных перистых облаков, что было бы относительно удобно для полета ЛА в них. Водяные облака более массивные и, возможно, в них действуют сильные конвективные процессы. Модель предсказывает, что они подобны кучевым облакам на Земле.

Апаратура КК Касини изучала тропосферу и стратосферу Сатурна исследуя излучение, которое отражается или поглощается в разных слоях, делая выводы на счет температуры и динамики на разных глубинах. В отличие от Юпитера, Сатурн имеет толстый слой тумана в верхней части тропосферы. Это частично мешает напрямую изучать нижние слои, так как прозрачность в видимом диапазоне быстро падает.

Замеры, снятые с КТХ (Космического телескопа Хабл) и КК Касини, показывают, что существуют как минимум два слоя тумана над аммиачными облаками, состоящие преимущественно из аэрозольных частиц. Верхний тонкий слой стратосферы (между 1-50 мбар) состоит из мелких частиц, сильно поглощающих в UV диапазоне. Ниже этого слоя существует толстый слой, распространяющийся от аммиачных облаков до тропопаузы, который имеет меняющуюся оптическую глубину. Полосатая структура Сатурна в видимом оптическом диапазоне является следствием комбинированного эффекта отражения и поглощения солнечных фотонов (350-800 nm) в этих слоях (слоях тумана) (Karkoschaka and Tomasko 1991,2005).

Сатурн излучает приблизительно в $1,78 \pm 0,09$ раз больше, чем поглощает (Henel et al. 1983). Это предполагает наличие внутреннего источника теплоты с мощностью $2,01 \pm 0,14 \text{ В/м}^2$ из-за гравитационной контракции и из-за деления гелия. [24]

Уран



облачных слоев остается спорным. Единственный раз облачные структуры из метана наблюдалась непосредственно КК Voyager 2. Глубинные зоны определялись благодаря спектроскопическим данным, полученным в видимой и ближних к видимому зонах спектра.

Стратосфера - это средний слой атмосферы Урана. Температура увеличивается с высотой, достигая значений 800-850 К. Увеличение происходит благодаря теплоте, которая вытекает из нижних слоев термосферы [5,6], и из-за поглощения солнечного ультрафиолетового света метаном и углеводородами, образованным при эффекте

Ускорение свободного падения равно $8,87\text{м/с}^2$. Вторая космическая скорость $21,3\text{ км/с}$.

Атмосфера Урана, подобно Юпитеру и Сатурну состоит в основном из водорода и гелия, а в глубине соединения водорода, такие как вода, аммиак, метан и т.д. Атмосфера Урана является самой холодной из всех планет в Солнечной системе, ее температура достигает значения - ниже 50 К.

Атмосферу Урана можно разделить на три основных слоя. Тропосфера - высота между -300 до 50 км, при давлении от 100 до 0,1 бар; стратосфера, расположенная между 50-4000 км при давлениях 0.1 – $10^{(-6)}$ бар; и Термосфера, расположенная в пределах 4000 км до нескольких радиуса урана от номинального (морского) уровня - 1 бар.

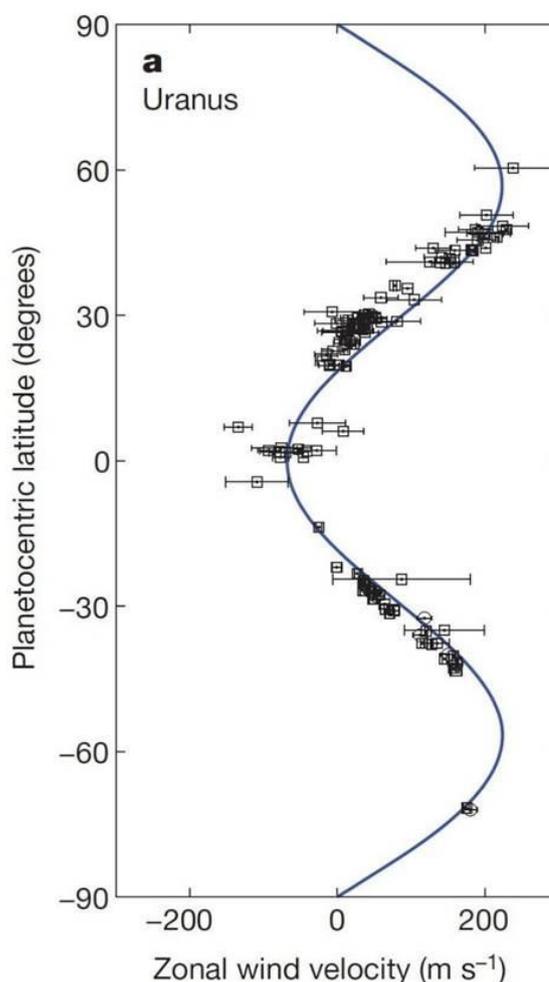
Тропосфера является самой низкой и самой плотной частью атмосферы Урана. Температура составляет от 350 К до 50 К [1,2]. Эта часть атмосферы урана состоит из сложной структуры облаков (Рис.1). В интервале 50-300 бар, предполагается наличие водяных облаков; в интервале 20-40 бар – облака аммиачного гидросульфата; облака из аммиачного сульфата или сероводородные облака - в диапазоне 3-10 бар, и тонкие облака метана в диапазоне 1-2 бар [2-4]. Точное положение двух верхних

фотолиза (фоторазложения) метана [7]. Углеводороды показаны на рис. 2. в штрихованном кватрате.

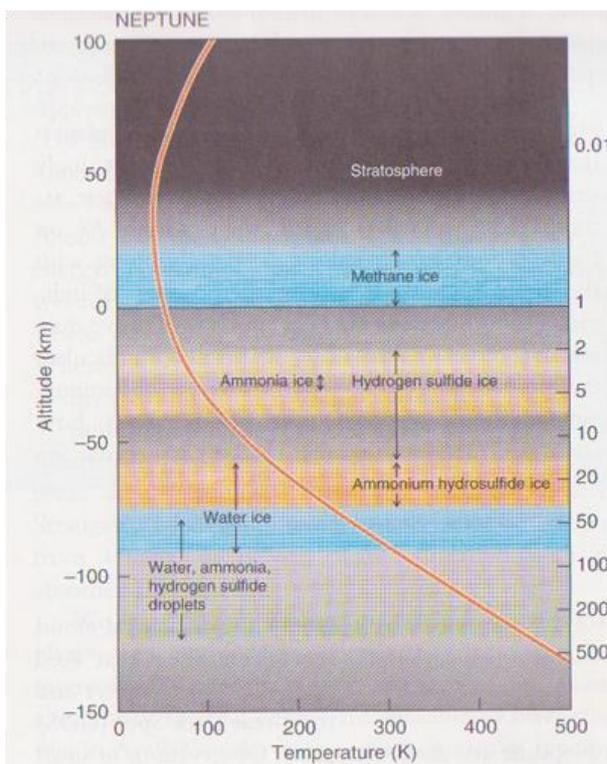
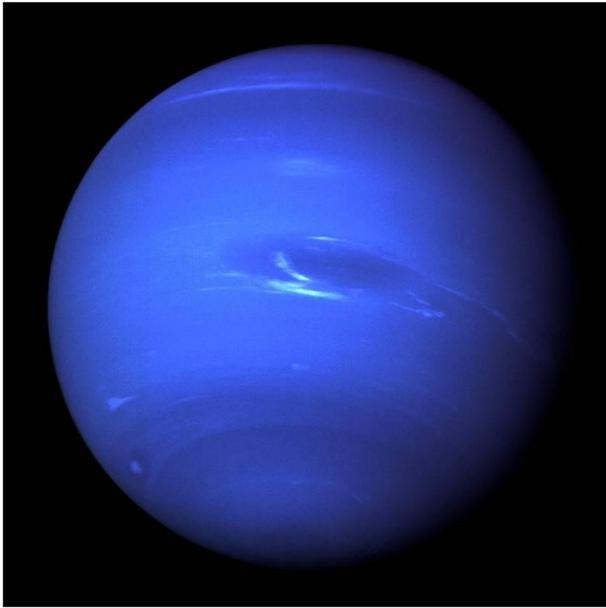
Углеводороды тяжелее метана, находятся на высоте от 160 до 320 км и при давлении от 10 до 0,1 бар. Самые распространенные углеводороды в стратосфере - этан и ацетилен. Сложные углеводороды ответственны за охлаждение стратосферы. Кроме того, в стратосфере Урана содержится окись углерода и следы водяного пара и углекислого газа. Эти три компонента распределены относительно однородно и не образуют отдельные слои, как в случае с углеводородами [8,9]. Концентрация углеводородов в стратосфере Урана значительно ниже, чем у других газовых гигантов. Стратосфера Урана менее прозрачна и в результате холоднее, чем у других гигантов [10,11].

Самым высоким слоем атмосферы Урана является Термосфера. Она имеет постоянную температуру 800 - 850 K, что значительно выше чем на Сатурне (~ 420K). В состав термосферы входит в основном молекулярный водород, но открыты и свободные атомы водорода, в то время как гелий не доступен в этой области, так как уходит в нижние слои благодаря диффузии[12]. Более высокие части стратосферы и термосферы содержат высокую концентрацию ионов и электронов и, следовательно, образуют ионосферу Урана. Ионосфера находится на высоте от 1000 до 10000 км, а в диапазоне 1000 - 3500 км находятся узкие и наиболее плотные слои.

Было обнаружено, что на Уране в верхней тропосфере дуют ветра. В области экватора ветра ретроградны, а их скорость достигает 50 - 100 м / с. От экватора к полюсам скорость уменьшается, достигая нулевых значений на отметке $\pm 20^\circ$ широты. Ближе к полюсам ветры меняют направление, достигая своего максимума на отметке $\pm 60^\circ$ географической широты, приближаясь при этом к скорости в 240 м / с, а потом они снова достигают нулевых значений на полюсах.



Нептун



При давлении между одним и пятью барами, формируются облака аммиака и сероводорода. При давлении более 5 бар облака могут состоять из аммиака, сульфида аммония, сероводорода и воды. Глубже, при давлении в приблизительно 50 бар, могут существовать облака из водяного льда, при температуре, равной 0 °C. Также, не исключено, что в данной зоне могут быть найдены облака из аммиака и сероводорода. Высотные облака Нептуна наблюдались по отбрасываемым ими теням на непрозрачный облачный слой ниже уровнем. Среди них выделяются облачные полосы, которые «обёртываются» вокруг планеты на постоянной широте. У данных периферических групп ширина достигает 50—150 км, а сами они находятся на 50—110 км выше основного облачного слоя. Изучение спектра Нептуна позволяет предполагать, что его более низкая стратосфера затуманена из-за конденсации продуктов

Ускорение свободного падения равно $11,15 \text{ м/с}^2$. Вторая космическая скорость 23.5 км/с.

В верхних слоях атмосферы обнаружен водород и гелий, которые составляют соответственно 80 и 19 % на данной высоте. Также наблюдаются следы метана. Заметные полосы поглощения метана встречаются на длинах волн выше 600 нм в красной и инфракрасной части спектра. Как и в случае с Ураном, поглощение красного света метаном является важнейшим фактором, придающим атмосфере Нептуна синий оттенок.

Атмосфера Нептуна подразделяется на 2 основные области: более низкая тропосфера, где температура снижается вместе с высотой, и стратосфера, где температура с высотой, наоборот, увеличивается. Граница между ними, тропопауза, находится на уровне давления в 0,1 бар. Стратосфера сменяется термосферой на уровне давления ниже, чем 10^{-4} — 10^{-5} мкбар. Термосфера постепенно переходит в экзосферу. Модели тропосферы Нептуна позволяют полагать, что в зависимости от высоты, она состоит из облаков переменных составов. Облака верхнего уровня находятся в зоне давления ниже одного бара, где температура способствует конденсации метана.

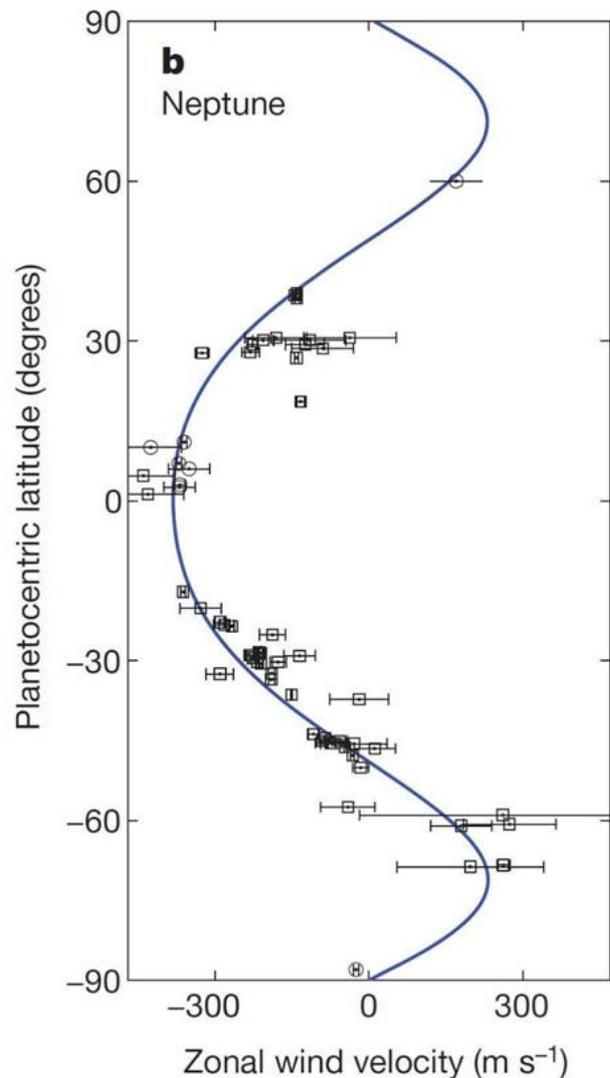
На фото, сделанном «Вояджером-2», виден вертикальный рельеф облаков

ультрафиолетового фотолиза метана, таких как этан и ацетилен. В стратосфере также обнаружены следы циановодорода и угарного газа.

Стратосфера Нептуна более тёплая, чем стратосфера Урана из-за более высокой концентрации углеводородов. По невыясненным причинам, термосфера планеты имеет аномально высокую температуру около 750 К. Для столь высокой температуры планета слишком далека от Солнца, чтобы оно могло так разогреть термосферу ультрафиолетовой радиацией. Возможно, данное явление является следствием атмосферного взаимодействия с ионами в магнитном поле планеты. Согласно другой теории, основой механизма разогревания являются волны гравитации из внутренних областей планеты, которые рассеиваются в атмосфере. Термосфера содержит следы угарного газа и воды, которая попала туда, возможно, из внешних источников, таких как метеориты и пыль.

Одно из различий между Нептуном и Ураном — уровень метеорологической активности. «Вояджер-2», пролетавший вблизи Урана в 1986 году, зафиксировал крайне слабую активность атмосферы. В противоположность Урану, на Нептуне были отмечены заметные перемены погоды во время съёмки с «Вояджера-2» в 1989 году.

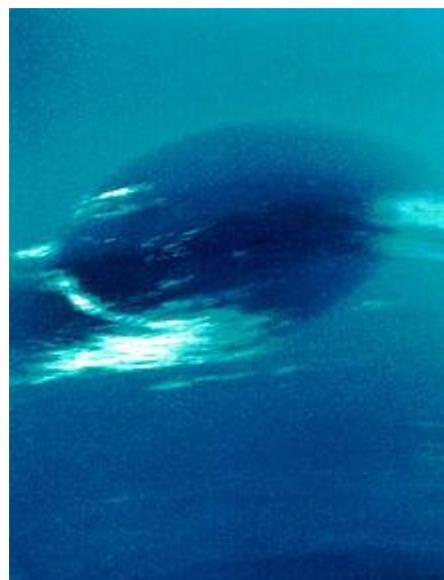
Погода на Нептуне характеризуется чрезвычайно динамической системой штормов, с ветрами, достигающими почти сверхзвуковых скоростей (около 600 м/с). В ходе отслеживания движения постоянных облаков было зафиксировано изменение скорости ветра от 20 м/с в восточном направлении к 325 м/с на западном. В верхнем облачном слое скорости ветров разнятся от 400 м/с вдоль экватора до 250 м/с на полюсах. Большинство ветров на Нептуне дуют в



направлении, обратном вращению планеты вокруг своей оси. Общая схема ветров показывает, что на высоких широтах направление ветров совпадает с направлением вращения планеты, а на низких широтах противоположно ему. Различия в направлении воздушных потоков, как полагают, следствие «скин-эффекта», а не каких-либо глубинных атмосферных процессов.

Содержание в атмосфере метана, этана и ацетилена в области экватора превышает в десятки и сотни раз содержание этих веществ в области полюсов. Это наблюдение может считаться свидетельством в пользу существования апвеллинга на экваторе Нептуна и его понижения ближе к полюсам. В 2007 году было замечено, что верхняя тропосфера южного полюса Нептуна была на 10 °С теплее, чем остальная часть Нептуна, где температура в среднем составляет –200 °С. Такая разница в температуре достаточна, чтобы метан, который в других областях верхней части атмосферы Нептуна находится в замороженном виде, просачивался в космос на южном полюсе. Эта «горячая точка» — следствие осевого наклона Нептуна, южный полюс которого уже четверть нептуннианского года, то есть примерно 40 земных лет, обращён к Солнцу. По мере того, как Нептун будет медленно продвигаться по орбите к противоположной стороне Солнца, южный полюс постепенно уйдёт в тень, и Нептун подставит Солнцу северный полюс. Таким образом, высвобождение метана в космос переместится с южного полюса на северный. Из-за сезонных изменений облачные полосы в южном полушарии Нептуна, как наблюдалось, увеличились в размере и альбедо. Эта тенденция была замечена ещё в 1980 году, и, как ожидается, продлится до 2020 года с наступлением на Нептуне нового сезона. Сезоны меняются каждые 40 лет.

В 1989 году аппаратом НАСА «Вояджер-2» было открыто *Большое тёмное пятно*, устойчивый шторм-антициклон размерами 13 000 × 6600 км. Этот атмосферный шторм напоминал Большое красное пятно Юпитера, однако 2 ноября 1994 года космический телескоп «Хаббл» не обнаружил его на прежнем месте. Вместо него новое похожее образование было обнаружено в северном полушарии планеты.

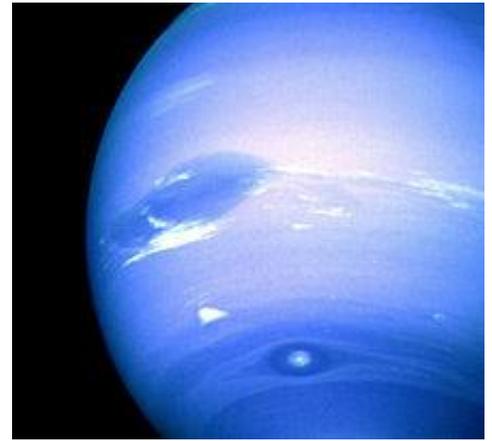


Скутер — это другой шторм, обнаруженный южнее Большого тёмного пятна. Его название — следствие того, что ещё за несколько месяцев до сближения «Вояджера-2» с Нептуном было ясно, что эта группка облаков перемещалась гораздо быстрее Большого тёмного пятна. Последующие изображения позволили обнаружить ещё более быстрые, чем «скутер», группы облаков.

Малое тёмное пятно, второй по интенсивности шторм, наблюдавшийся во время сближения «Вояджера-2» с планетой в 1989 году, расположено ещё южнее. Первоначально оно казалось полностью тёмным, но при сближении яркий центр Малого тёмного пятна стал виднее, что можно заметить на большинстве чётких фотографий с высоким разрешением.

«Тёмные пятна» Нептуна, как полагают, рождаются в тропосфере на более низких высотах, чем более яркие и заметные облака. Таким образом, они кажутся своеобразными дырами в верхнем облачном слое. Поскольку эти штормы носят устойчивый характер и могут существовать в течение нескольких месяцев, они, как

считается, имеют вихревую структуру. Часто связываются с тёмными пятнами более яркие, постоянные облака метана, которые формируются в тропопаузе. Постоянство сопутствующих облаков показывает, что некоторые прежние «тёмные пятна» могут продолжить своё существование как циклон, даже при том что они теряют тёмный окрас. Тёмные пятна могут рассеяться, если они движутся слишком близко к экватору или через некий иной неизвестный пока механизм.



Более разнообразная погода на Нептуне, по сравнению с Ураном, как полагают, — следствие более высокой внутренней температуры. При этом Нептун в полтора раза удалённее от Солнца, чем Уран, и получает лишь 40 % от того количества солнечного света, которое получает Уран. Поверхностные же температуры этих двух планет примерно равны. Верхние области тропосферы Нептуна достигают весьма низкой температуры в $-221,4$ °С. На глубине, где давление равняется 1 бару, температура достигает $-201,15$ °С. Глубже идут газы, однако температура устойчиво повышается. Как и с Ураном, механизм нагрева неизвестен, но несоответствие большое: Уран излучает в 1,1 раза больше энергии, чем получает от Солнца. Нептун же излучает в 2,61 раза больше, чем получает, его внутренний источник тепла добавляет 161 % к энергии, получаемой от Солнца.

Хотя Нептун — самая далёкая от Солнца планета, его внутренней энергии оказывается достаточно, чтобы породить самые быстрые ветры в Солнечной системе. Предлагается несколько возможных объяснений, включая радиогенный нагрев ядром планеты (подобно разогреву Земли радиоактивным калием-40), диссоциация метана в другие цепные углеводороды в условиях атмосферы Нептуна, а также конвекция в нижней части атмосферы, которая приводит к торможению гравитационных волн над тропопаузой.

3. Типы летательных аппаратов.

1. Стратостат.

Стратостат - свободный гидростат, предназначенный для полета в тропо- и стратосфере. Стратостат должен летать выше туманного слоя, чтобы можно было вести визуальное наблюдение за динамикой атмосферы, активность грозных фронтов, а так же, для поддержания стабильной связи со спутником, и, соответственно, с Землей. Главной проблемой газового гидростата является то что газ в оболочке постепенно уходит в атмосферу и как следствие стратостат теряет свою подъемную силу. Это означает несколько дней его работы. Поэтому лучшее всего использовать статостат наподобие воздушного шара (тип Монгольфье),



который прогревает рабочее вещество внутри оболочкой. Для этого тоже можно использовать ядерные источники нагрева например „таблетки“ из уранового оксида. Такой шар может очень долго находиться в высоких слоях атмосферы.

2. Планер.

Планер способен летать в условиях Юпитера при давлении не выше 1.5 атмосфер (не ниже -5 км), что обусловлено верхним покровом облака аммиачного гидросульфида. Скорость горизонтального потока не превышает 300 км/ч , что вполне сравнимо со скоростями набегающего потока на планерах в земных условиях (ныне действующий рекорд скорости планера - $234,95 \text{ км/ч}$, установлен 7 мая 2000 года американцем Джеймсом Пейне в Калифорнии на планере Schempp-Hirth Discus A) <http://svpressa.ru/post/article/82838/>

Масса пустого планера в среднем равна 250 кг. Масса полезной нагрузки (лабораторное оборудование, системы управления и связи, энергетическая установка и т.д.) около 250 кг. Таким образом суммарная масса планера составила бы порядка 500 кг. Однако, перед нами встает вопрос доставки планера с помощью ракетносителя на Юпитер. Это обуславливает необходимость делать складное крыло, в следствии чего масса планера вырастет. Тем не менее это увеличение не будет критичным.

Температура среды - около 200° К, давление - 1 атм.

$$\rho = \frac{16,5 * 101325}{8,31 * 200} = 1005,9 \text{ Г/М}^3 = 1,006 \text{ КГ/М}^3$$

Как видим, плотность газа на нулевом уровне очень близка к плотности воздуха на Земле. Из этого следует, что при учете сравнимой с земной скоростью набегающего потока, скоростной напор $q = \frac{\rho V^2}{2}$ будет практически таким же, как и на Земле. Следовательно, аэродинамика ЛА претерпит незначительные изменения.

Так же, можно заполнить все пустоты ЛА гелием, что приведет к еще большей суммарной подъемной силе и, как следствие, к увеличению возможной полезной нагрузки или уменьшению общей массы аппарата.

Условия для полета не сильно отличаются от земных по основным показателям атмосферы. По крайней мере, в интересующих нас областях.



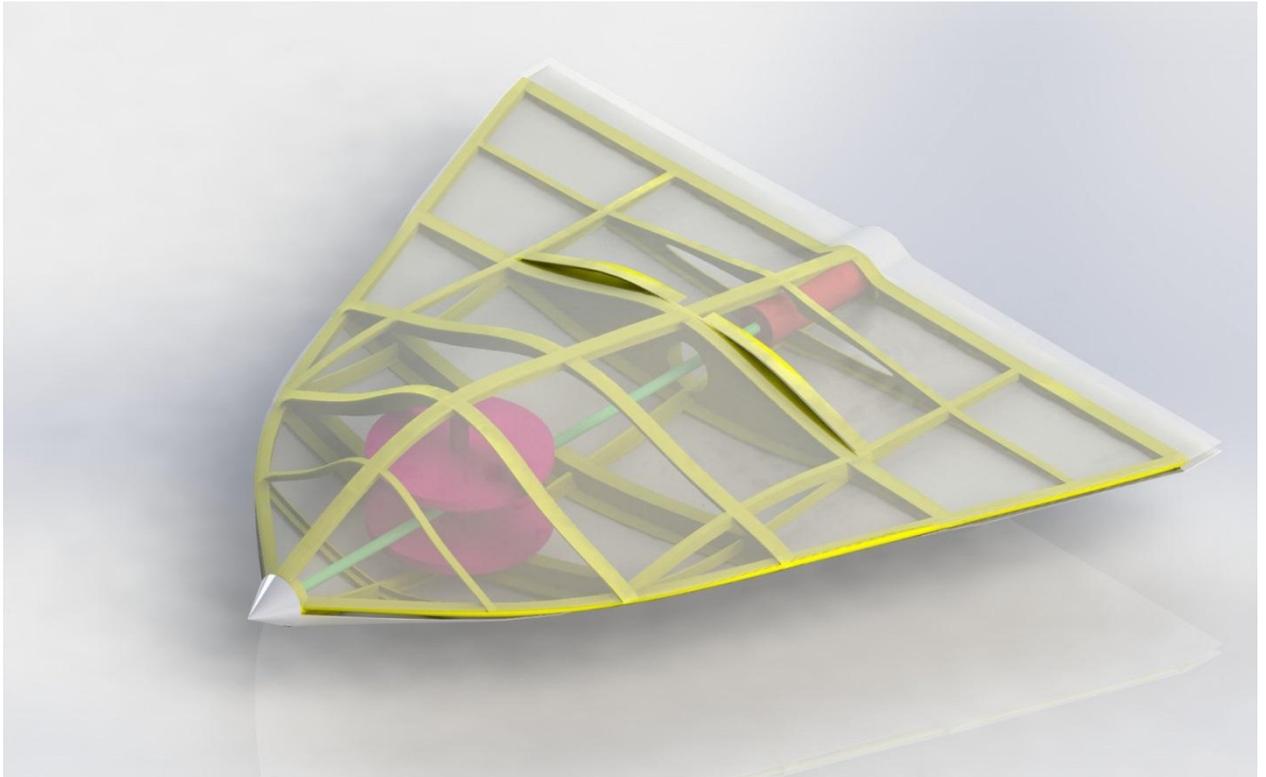
3. Планер с силовой установкой - самолет

Планер без силовой установки сможет летать лишь в одном направлении, двигаясь вместе с потоками атмосферы. При этом, аппарат не может сильно отклоняться от центра зоны, так как стекающие в пояса потоки могут унести его, и, как следствие, он, подхваченный нисходящим потоком, спустится до глубин с высоким давлением и будет раздавлен.

Планер с силовой установкой сможет сопротивляться воздействию стекающих потоков, таким образом, расширится площадь исследования. Так же, он сможет

совершать полет против ветра и летать во всех необходимых направлениях, что, несомненно, выгодно для исследований и выполнения поставленных задач.

Однако, классический двигатель внутреннего сгорания не подойдет для работы в условиях газовых гигантов, так как на этих планетах отсутствует в свободном доступе основной окислитель, использующийся на Земле – кислород. Вместо стандартного двигателя внутреннего сгорания можно использовать ядерную установку, либо некий химический двигатель, основанный на взаимодействии имеющихся в атмосферах планет химических элементов.

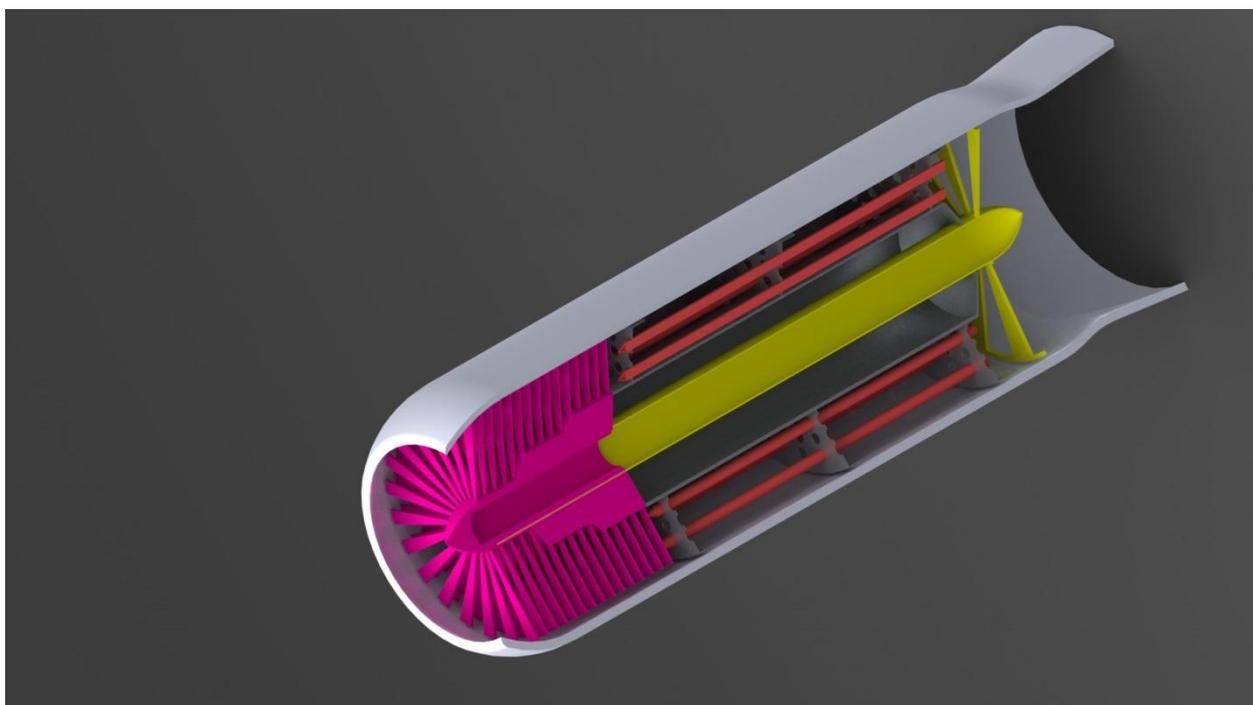


4. Силовая установка

В качестве силовой установки можно использовать ядерный ракетный двигатель (ЯРД). Традиционный ЯРД в целом представляет собой конструкцию из нагревательной камеры с ядерным реактором, как источником тепла, системы подачи рабочего тела, и сопла.

Существует несколько типов ЯРД. Однако их планируется использовать, в основном, для космических кораблей. Но ни один из них не применялся для полетов в условиях атмосферы планет. Наиболее перспективным для выполнения такой миссии среди всех типов двигателей является твердофазный ядерный реактивный двигатель (ТЯРД). ТЯРД по своему принципу работы представляет собой высокотемпературный реактор-теплообменник, в который вводится рабочее тело (водород, аммиак) под давлением, и по мере его разогрева до высоких температур (свыше 3000°C) выбрасывается через охлаждаемое сопло.

Тот факт, что атмосфера рассматриваемых нами планет в основном состоит из водорода, делает данную установку максимально перспективной. Ведь рабочее тело не нужно будет нести в теле ЛА, что значительно уменьшает массу аппарата и увеличивает массу возможной полезной нагрузки.



Заключение.

В ходе этой исследовательской работы мы хотим определить, возможен ли полет в условиях атмосферы Газовых гигантов. Вывод: да, возможен! Однако остается множество не решенных вопросов, среди которых: методы доставки аппарата на планет Солнечной системы, возможность поместить сравнительно крупный ЛА в стесненное пространство ракетносителя, методы коммуникации с аппаратом, методы управления полетом ЛА и множество других вопросов. И это только техническая часть.

Но значительно интереснее, какие перспективы несет этот проект. Огромное пространство для естественнонаучных и технических исследований. Возможность выйти за пределы нашей планеты и даже нашей Солнечной системы, напрямую изучать процессы, происходящие в новыми абсолютно не познанными мирами. Возможность добычи нового источника энергии – He-3 с огромными перспективами перед собой и в энергетике и в космонавтике и многое другое.

Литература

- [1] Lunine, Jonathan I. (1993). "The Atmospheres of Uranus and Neptune". *Annual Review of Astronomy and Astrophysics* 31: 217-263
- [2] de Pater, I.; Romani, P. N.; Atreya, S. K. (1989). "Uranus Deep Atmosphere Revealed". *Icarus* 82 (2): 288–313.
- [3] Lindal, G. F.; Lyons, J. R.; Sweetnam, D. N.; Eshleman, V. R.; Hinson, D. P.; Tyler, G. L. (1987). "The Atmosphere of Uranus: Results of Radio Occultation Measurements with Voyager 2". *Journal of Geophysical Research (American Geophysical Union)* 92 (A13): 14,987–15,001.
- [4] Atreya, Sushil K.; Wong, Ah-San (2005). "Coupled Clouds and Chemistry of the Giant Planets — A Case for Multiprobes" (PDF). *Space Science Reviews* 116: 121–136
- [5] Sromovsky, L. A.; Fry, P. M.; Hammel, H. B.; Ahue, W. M.; de Pater, I.; Rages, K. A.; Showalter, M. R.; van Dam, M. A. (2009). "Uranus at equinox: Cloud morphology and dynamics". *Icarus* 203 (1): 265–286.
- [6] Herbert, F.; Sandel, B. R.; Yelle, R. V.; Holberg, J. B.; Broadfoot, A. L.; Shemansky, D. E.; Atreya, S. K.; Romani, P. N. (1987). "The Upper Atmosphere of Uranus: EUV Occultations Observed by Voyager 2". *Journal of Geophysical Research* 92 (A13): 15,093–15,109
- [7] Summers, M. E.; Strobel, D. F. (1989). "Photochemistry of the atmosphere of Uranus". *The Astrophysical Journal* 346: 495–508
- [8] Burgdorf, M.; Orton, G.; Vancleve, J.; Meadows, V.; Houck, J. (2006). "Detection of new hydrocarbons in Uranus' atmosphere by infrared spectroscopy". *Icarus* 184 (2): 634–637

- [9] Encrenaz, T.; Lellouch, E.; Drossart, P.; Feuchtgruber, H.; Orton, G. S.; Atreya, S. K. (2004). "First detection of CO in Uranus". *Astronomy and Astrophysics* 413(2): L5–L9
- [10] Herbert, Floyd; Sandel, Bill R. (1999). "Ultraviolet observations of Uranus and Neptune". *Planetary and Space Science* 47 (8–9): 1,119–1,139.
- [11] Bishop, J.; Atreya, S. K.; Herbert, F.; Romani, P. (1990). "Reanalysis of voyager 2 UVS occultations at Uranus: Hydrocarbon mixing ratios in the equatorial stratosphere"(PDF). *Icarus* 88 (2): 448–464
- [12] Miller, Steve; Aylward, Alan; Millward, George (2005). "Giant Planet Ionospheres and Thermospheres: The Importance of Ion-Neutral Coupling". *Space Science Reviews* 116 (1–2): 319–343.
- [13] Tyler, G. L.; Sweetnam, D. N.; Anderson, J. D.; Campbell, J. K.; Eshleman, V. R.; Hinson, D. P.; Levy, G. S.; Lindal, G. F.; Marouf, E. A.; Simpson, R. A. (1986). "Voyager 2 Radio Science Observations of the Uranian System: Atmosphere, Rings, and Satellites". *Science* 233(4759): 79–84
- [14] Sromovsky, L. A.; Fry, P. M. (2005). "Dynamics of cloud features on Uranus". *Icarus* 179 (2): 459–484
- [15] Hammel, H. B.; De Pater, I.; Gibbard, S. G.; Lockwood, G. W.; Rages, K. (2005). "Uranus in 2003: Zonal winds, banded structure, and discrete features" (PDF). *Icarus* 175 (2): 534–545
- [16] Hubbard, W. B. (1997) "Neptune's Deep Chemistry". *Science* 275 (5304): 1279–1280
- [17] Elkins-Tanton, Linda T. (2006). *Uranus, Neptune, Pluto, and the Outer Solar System*. New York: Chelsea House. pp. 79–83
- [18] Max, C. E.; Macintosh, B. A.; Gibbard, S. G.; Gavel, D. T. et al. (2003). "Cloud Structures on Neptune Observed with Keck Telescope Adaptive Optics". *The Astronomical Journal*, 125 (1): 364–375
- [19] Frances, Peter (2008). *DK Universe*. DK Publishing. pp. 196–201
- [20] Encrenaz, Thérèse (2003). "ISO observations of the giant planets and Titan: what have we learnt?". *Planetary and Space Science* 51 (2): 89–103.
- [21] Suomi, V. E.; Limaye, S. S.; Johnson, D. R. (1991). "High Winds of Neptune: A possible mechanism". *Science* 251 (4996): 929–932
- [22] Hammel, H. B.; Beebe, R. F.; De Jong, E. M.; Hansen, C. J. et al. (1989). "Neptune's wind speeds obtained by tracking clouds in Voyager 2 images". *Science* 245 (4924): 1367–1369
- [23] Ingersoll, A. P.; Dowling, T. E., Vasavada A.R. et al. (1998). "Dynamics of Jupiter's Atmosphere", *Highlights of Astronomy, International Astronomical Union volume 11B*: 1042-1049

[24] Del Genio, A. D.; Achterberg, R. K.; Baines, K. H. et al. (2009). "Saturn Atmospheric Structure and Dynamics", *Saturn from Cassini-Huygens*: 113–159