

Линия метастабильного гелия 1083 нм часто используется в наблюдениях за экзопланетами благодаря ряду её преимуществ:

1. Она может быть обнаружена наземными телескопами, что увеличивает качество наблюдательных данных;
2. Линия относится к ближнему ИК в которой достигается лучшие данные чем в других оптических диапазонах;
3. Гелий второй элемент по распространённости во вселенной;

В ИЛФ СО РАН разработан модуль кинетики метастабильного гелия в рамках глобального МГД кода, для моделирования атмосфер экзопланет [1]. В нём учитываются такие процессы как:

1. Фотовозбуждение;
2. Фотоионизация;
3. Рекомбинация;
4. Переходы за счёт столкновений с атомами и молекулами водорода и электронами;

Постоянные для скоростей этих реакций ранее находились лишь теоретически в рамках квантовой механики. Поэтому подтверждение теоретических значений представляет актуальную задачу и оно будет осуществлено экспериментально на установке КИ-1. Для этого будет использована фоновая плазма установки. В частности будут подтверждены скорости таких реакций как рекомбинация, столкновения с электронами, столкновение с атомами и молекулами водорода. Рассматриваются именно данные типы реакций, потому что они значительно превосходят остальные в условиях эксперимента и в атмосферах экзопланет.

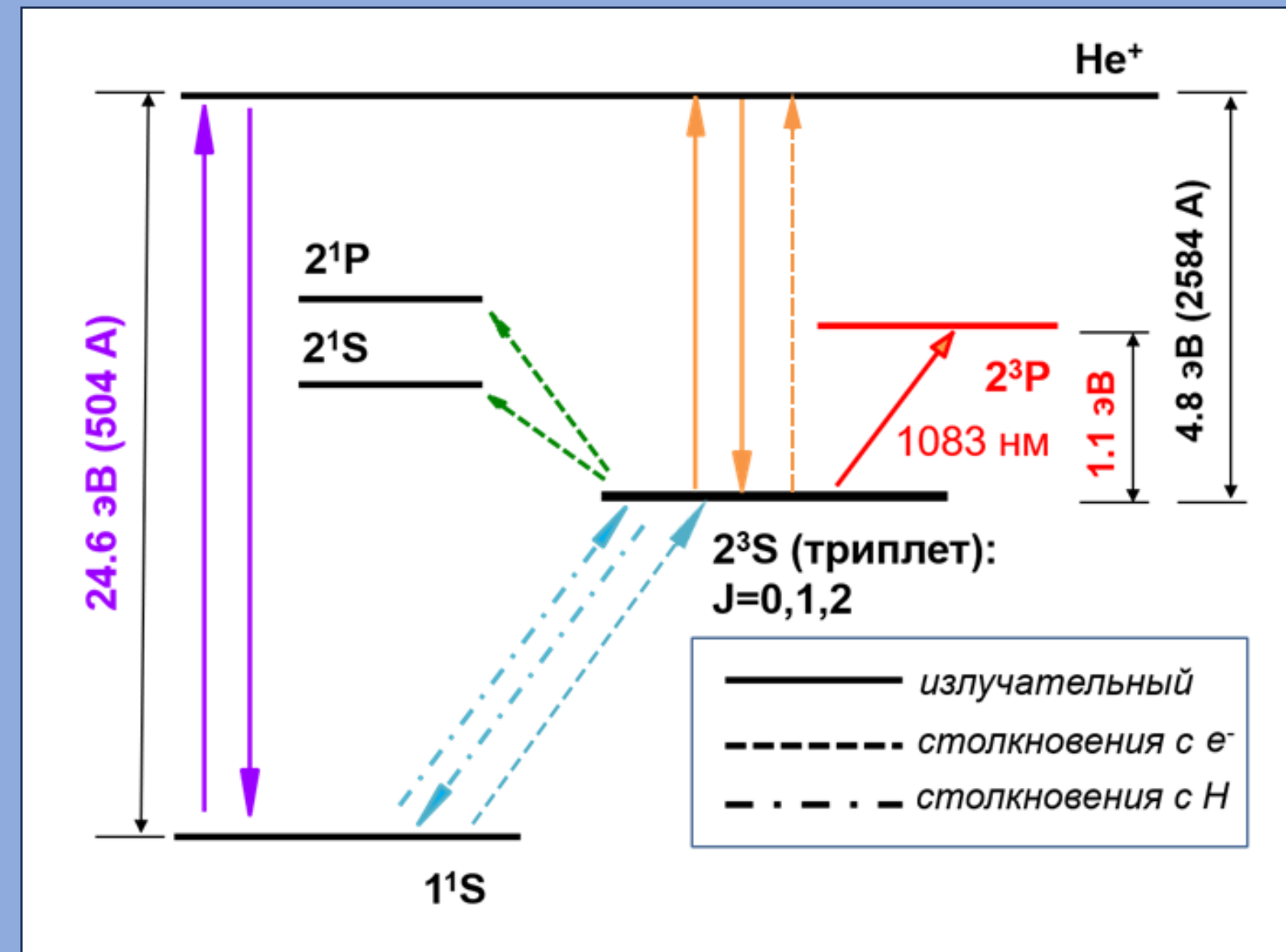
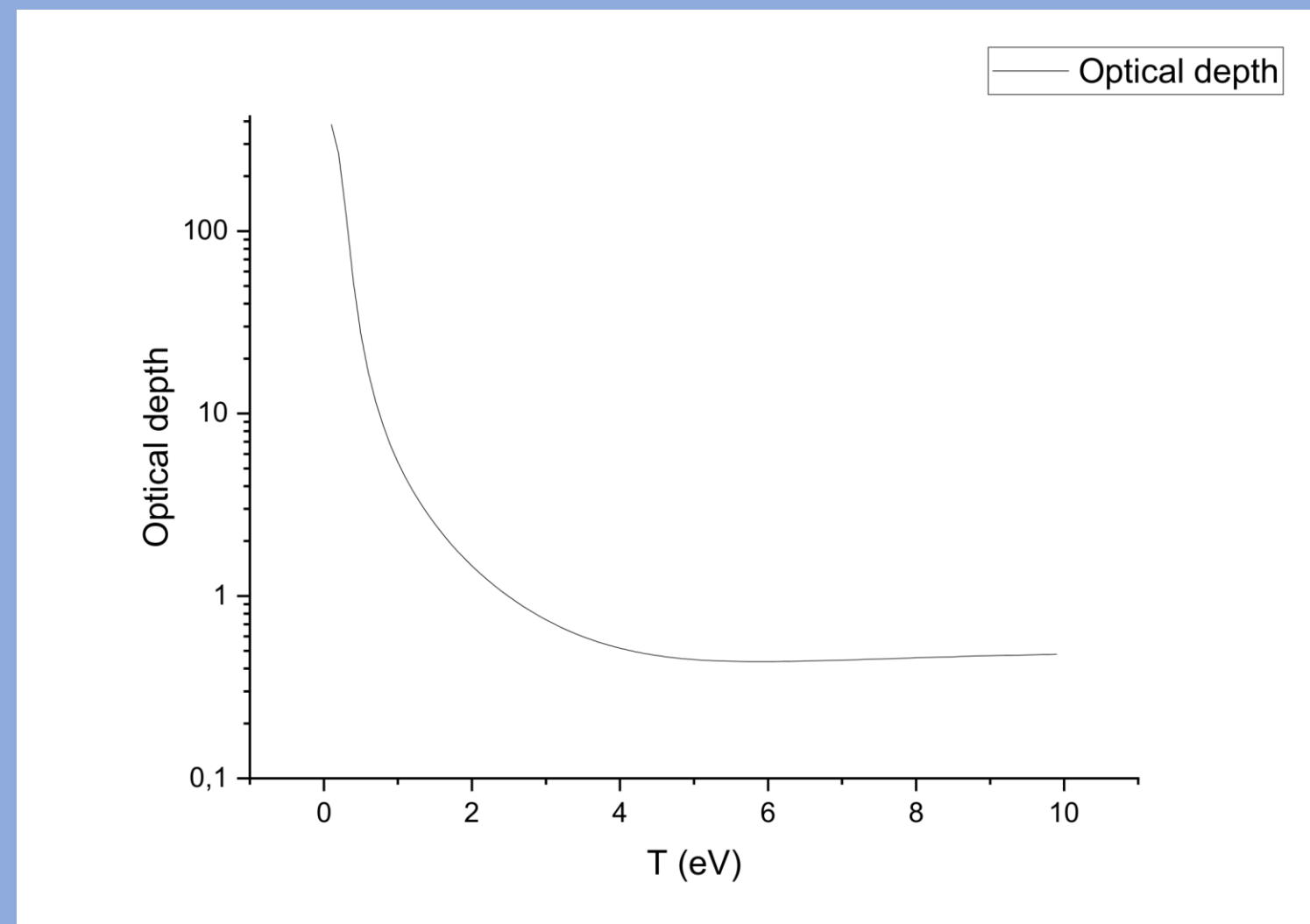


Схема энергетических уровней атома гелия с обозначенными переходами [2], которые учитываются в кинетической модели. 2^3S – уровень метастабильного гелия, переход из которого на 2^3P и образует искомое поглощение на длине волны 1083 нм.



Оптическая глубина полученная теоретически, используя выражение: $\tau = n(\text{He}[2^3S]) \cdot \sigma_{\text{max}} \cdot L$, где $n(\text{He}[2^3S])$ – концентрация поглощающего уровня гелия, σ_{max} – сечение Фойгтовского профиля поглощения взятое в максимуме, L – длина пробега излучения в поглощающей среде, при расчёте она бралась равной 1 км.

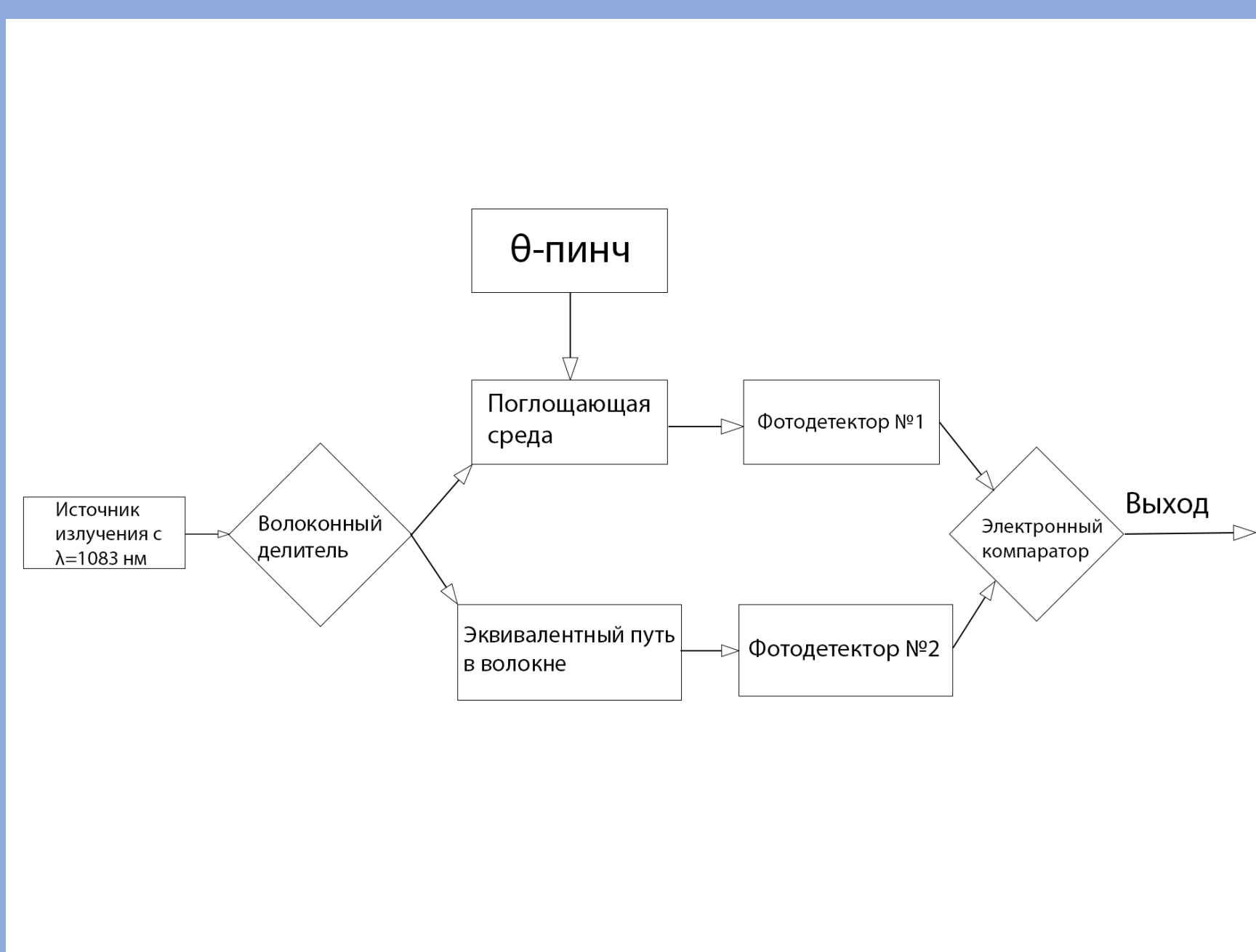
Параметры расчёта: $n_{\text{He}} = 10^{13} \text{cm}^{-3}$, $n_e = 10^{13} \text{cm}^{-3}$, $n_{\text{H}} = 10^{11} \text{cm}^{-3}$, $n_{\text{H}_2} = 10^{11} \text{cm}^{-3}$, $T = 0.1 \div 10$ эВ (1 эВ \approx 11600 К)

После эксперимента будет проведено сравнение наблюдаемого поглощения с теоретически вычисленным значением и из этого будет найдено значение скоростей реакций.

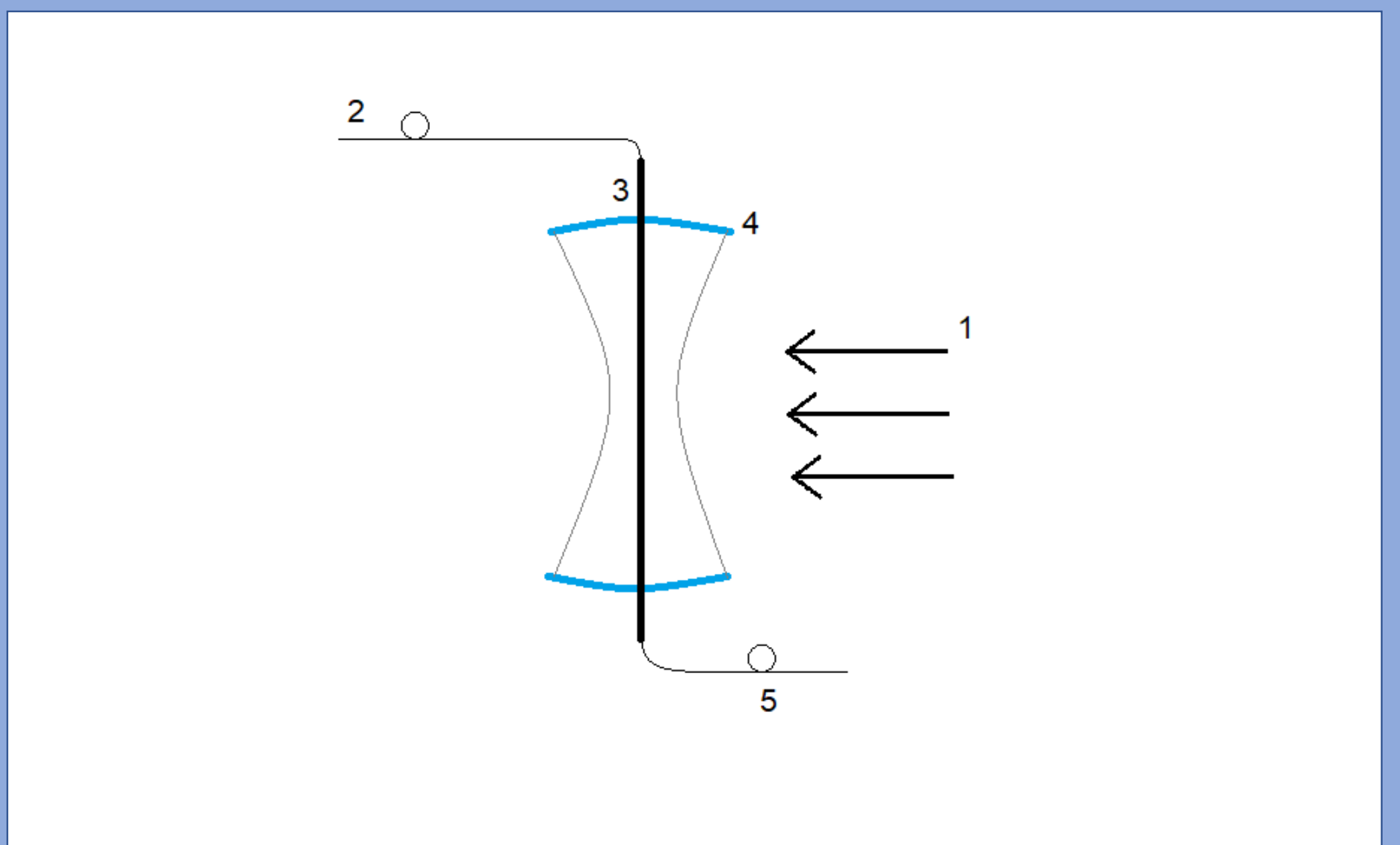
Моделирование показывает, что оптическая толщина достигает 1 приблизительно при температуре в 2.5 эВ. Однако так как значение длины пробега взято довольно большим, и оно не может быть достигнуто в эксперименте при однократной схеме, то из расчёта следует, что использование резонатора для реализации многократной схемы принципиально важно.

Характерный размер установки – 1 м, значит увеличение эффективного пути должно быть как минимум в несколько сотен раз, что требует применения резонатора высокого качества.

Источник излучения при этом должен обладать достаточно широкой полосой для того, чтобы приблизиться по этому параметру к источникам которые наблюдаются в космосе.



Блок-схема описывающая принцип работы установки. Источник создаёт излучение включающее линию метастабильного гелия, далее производится разделение излучения в заданной пропорции. Одна часть проходит сквозь плазму, образуемую θ -пинчем, а другая проходит эквивалентный оптический путь в оптоволокне. Вторая компонента используется для юстировки и непосредственного нахождения поглощения. Результирующее излучение в обоих путях считывается с помощью фотодетекторов и в конце сигналы приходят в компаратор который в итоге выводит значение поглощения на осциллограф. Пропорция делителя определяется путём проведения эксперимента, но без плазмы, при этом очевидно поглощение не должно наблюдаться и компаратор выводит на выход 0, потому что оба значения одинаковы, в случае отклонения – значение пропорции изменяется.



Поглощающая среда с резонатором
 1 – поток фоновой плазмы образуемый θ -пинчем;
 2 – входное оптоволокно, которое вводит в резонатор излучение;
 3 – излучение с центральной длиной волны 1083 нм, которое поглощается в среде;
 4 – резонатор с высоким качеством, который увеличивает эффективную длину пробега в несколько сотен раз;
 5 – выходное оптоволокно, которое выводит из резонатора излучение прошедшее через поглощающую среду.

Резонатор расположен в вакуумной камере установки КИ-1.

Список литературы

1. M. S. Rumenskikh, I. F. Shaikhislamov, M. L. Khodachenko, H. Lammer, I. B. Miroshnichenko, A. G. Berezutsky, and L. Fossati, *Astrophys. J.* 927, 238 (2022)
2. М. С. Руменских, Оптический Метод Транзитных Поглощений в Линии Метастабильного Гелия Для Определения Параметров Экзопланетных Атмосфер, ИЛФ СО РАН, 2023