

Т.С. Бакиров, В.М. Генералов, О.В. Фефелов

Пробоотбор биологических частиц с помощью высокочастотных электрических и магнитных полей

НИИ аэробиологии ГНЦ ВБ «Вектор», пос. Кольцово, Новосибирская область

Поступила в редакцию 27.11.2001 г.

Удельная поляризуемость частиц биологического происхождения, как правило, значительно выше поляризуемости неорганических частиц. На этом отличии может быть основано разделение разного сорта частиц в процессе их пробоотбора в верхних слоях атмосферы и в космосе.

Рассматривается возможность последующего после торможения частиц пространственного разделения их по степени поляризуемости.

В отличие от известной схемы масс-спектрометра в предлагаемом устройстве для разделения частиц происходит отклонение не заряженных, а нейтральных частиц, и в качестве отклоняющего поля используется суперпозиция переменных электрического и магнитного полей. Под действием переменного электрического поля в частице наводится поляризационный ток, который взаимодействует с ортогональным сфазированным магнитным полем, и на частицу действует отклоняющая сила, пропорциональная поляризуемости частиц.

Пробоотбор и анализ биогенных частиц в верхних слоях атмосферы и в космосе представляют интерес в связи с решением нескольких проблем. Одна из проблем – количественная оценка вероятности гипотезы возникновения жизни на Земле при ее возникновении где-то во Вселенной и дальнейшего «занося» из космического пространства. Другая проблема связана с освоением космического пространства и появлением космического мусора.

Нами разработан пробоотборник биогенных частиц, который можно применять в космосе и в верхних слоях атмосферы.

В состав космического мусора, образовавшегося в результате взрывов космических объектов, могут входить и биогенные частицы. Количество таких частиц микронного и меньшего размеров оценивается порядка 10^{13} – 10^{14} [1, 2].

Пробоотбор биогенных частиц необходим для изучения трансформации крупных молекул биологического происхождения (белков, нуклеиновых кислот, в том числе и фрагментов вирусных ДНК) в результате длительного воздействия факторов космического пространства.

Удельная поляризуемость биогенных частиц, как правило, значительно выше поляризуемости неорганических частиц. На этом отличии может быть основано разделение разного сорта частиц в процессе их пробоотбора в верхних слоях атмосферы и в космосе. В работах [2, 3] описано устройство для торможения частиц от скоростей 7–10 км/с до нескольких метров в секунду с целью обеспечения щадящего пробоотбора частиц биогенного происхождения. В настоящей статье рассматривается возможность последующего после торможения частиц пространственного разделения их по степени поляризуемости.

Схема устройства для разделения частиц представлена на рисунке. Пробоотборник может быть уста-

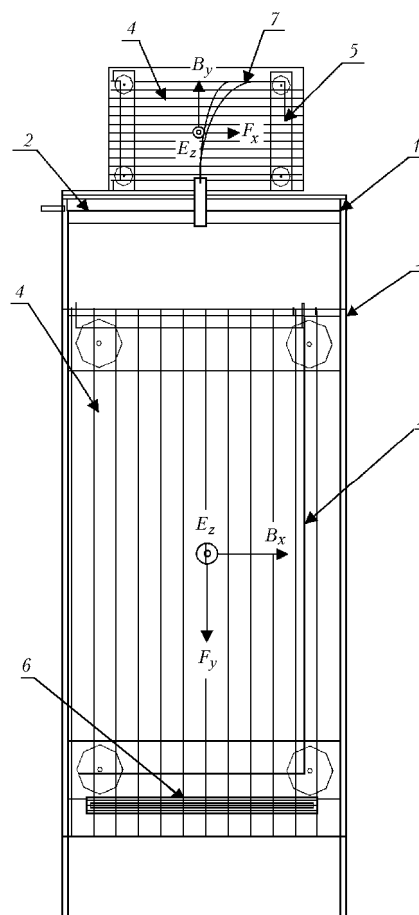


Схема устройства для торможения и пространственного разделения биогенных частиц высокочастотными электрическими и магнитными полями: 1 – съемный пробоотборный коллектор; 2 – электроды преципитатора; 3 – корпус резонатора; 4 – соленоид; 5 – пластины конденсатора; 6 – электронная пушка; 7 – траектории разделяемых частиц

новлен на борту международной космической станции. Устройство имеет резонатор для торможения частиц, описанный в [3, 4]. Входное окно пробоотборника направлено по ходу движения станции. В полости резонатора образуется избыточное давление остаточного газа, обусловленное скоростным напором $P = \rho v^2 / 2 \approx 10^{-1}$ Па, который формируется движущимся со скоростью $v \approx 7 \cdot 10^3$ м/с пробоотборником в неподвижной среде с плотностью остаточного газа $\rho \approx 10^{-8}$ кг/м³.

Присутствие остаточного газа в полости резонатора позволяет затормозить частицы размером $R = 10^{-8}$ м, а затем выпустить их с потоком газа через небольшое отверстие с малой скоростью в пространство за пробоотборником. В пространстве за пробоотборником устанавливается низкое давление остаточного газа $P \approx 10^{-10}$ Па.

Имеющиеся теоретические и экспериментальные данные показывают, что в условиях орбитального полета в области аэродинамического следа за плоским донным срезом тел малого удлинения, ориентированным перпендикулярно к вектору скорости, образуется стабильная зона сверхвысокого вакуума [5].

Отклоняющее устройство расположено за пробоотборником в области аэродинамического следа и состоит, так же как и основной пробоотборник, из резонатора, в котором формируются электрический компонент напряженности поля E_x , направленный перпендикулярно оси движения резонатора, и магнитный компонент B_y . Зависимость амплитуды этих полей от времени выражается следующими соотношениями:

$$E_x = E_0 \sin \omega t, \quad B_y = B_0 \cos \omega t. \quad (1)$$

Частица, попавшая в полость резонатора, поляризуется под действием высокочастотного электрического поля. При взаимодействии с электрическим компонентом напряженности поля E_x в частице наводится дипольный момент

$$d_x = \alpha \epsilon_0 E_x = \alpha \epsilon_0 E_0 \sin \omega t, \quad (2)$$

где α – коэффициент поляризуемости частицы; ϵ_0 – диэлектрическая постоянная вакуума.

Изменение напряженности электрического поля во времени приводит к возникновению поляризационного тока в частице:

$$j_x = \frac{1}{l} \frac{dd_x}{dt} = \frac{1}{l} \alpha \epsilon_0 \omega E_0 \cos \omega t. \quad (3)$$

Поляризационный ток взаимодействует с магнитным полем резонатора, и это приводит к возникновению отклоняющей силы F_z , действующей на частицу со стороны магнитного поля:

$$F_z = j_x B_y l = \alpha \epsilon_0 \omega E_0 B_0 \cos^2 \omega t, \quad (4)$$

где l – длина частицы.

Среднее значение отклоняющего ускорения

$$a_z = \frac{F_z}{m} = \frac{\alpha \epsilon_0 \omega E_0 B_0}{2m}. \quad (5)$$

В условиях космического вакуума при высоких значениях напряженности высокочастотного электрического поля в отклоняющем устройстве ускорение частиц a равно 10 м/с². При таких значениях ускорения отклоняются частицы размерами $R \approx 10^{-8}$ м, которые предположительно являются характерными для частиц биогенного происхождения в космосе, например для белков или фрагментов молекул ДНК.

Примем $\alpha = 10^{-22}$ м³, $E_0 = 10^6$ В/м, $B_0 = 10^{-2}$ Т, $m = 10^{-21}$ кг, $\omega = 10^9$.

Подставив эти значения в (5), получим $a_z = 5$ м/с².

При таком ускорении частица, летящая со скоростью 1 м/с, отклонится на расстоянии $0,1$ м на 30° . Частицы, отличающиеся поляризуемостью, будут отклоняться на различные углы и тем самым разделяться пространственно по степени поляризуемости.

Таким образом, устройство для отбора биологических частиц, основанное на пространственном разделении по степени поляризуемости, может применяться для дифференцированного подсчета количества частиц с разной поляризуемостью в условиях космического полета, а также использоваться в лабораторной практике в различных конфигурациях [6–9].

1. Рыхлова Л.В., Смирнов М.А. Загрязнение космоса // Вестник РАН. 2001. Т. 71. № 1. С. 26–31.
2. Топорков В.С., Бакиров Т.С., Генералов В.М., Сафатов В.С. Отбор биологических частиц в верхних слоях атмосферы // Оптика атмосфер. и океана. 1999. Т. 12. № 6. С. 549–552.
3. Бакиров Т.С., Генералов В.М. Пробоотборник «Ловушка» для частиц биогенного происхождения в космосе // Оптика атмосфер. и океана 2000. Т. 13. № 6–7. С. 598–602.
4. Пат. 2105815 СССР, МКИ 6 С 12 Q 1/00. Способ отбора биологических проб из потока частиц / Бакиров Т.С., Генералов В.М., Топорков В.С. Оpubл. в БИ. 1998. № 6.
5. Бержатый В.И., Зворыкин Л.Л., Иванов А.И., Пчеляков О.П., Соколов А.В. Перспективы реализации вакуумных технологий в условиях орбитального полета // Автоматическая сварка. 1999. № 10 (559). С. 108–116.
6. А.с. 625559 СССР, МКИ H05H7/00. Способ ускорения нейтральных частиц / Бакиров Т.С. Оpubл. в БИ. 1974. № 6.
7. А.с. 879675 СССР, МКИ H05H7/00. Способ ускорения нейтральных частиц / Бакиров Т.С. Оpubл. в БИ. 1981. № 6.
8. А.с. 1417783 СССР, МКИ H05H7/00. Способ ускорения нейтральных частиц / Бакиров Т.С. Оpubл. в БИ. 1987. № 6.
9. А.с. 1642353 СССР, МКИ G01N27/22. Способ определения поляризационных характеристик частиц / Бакиров Т.С. Оpubл. в БИ. 1991. № 14.

T.S. Bakirov, V.M. Generalov, O.F. Fefelov. **Sampling of bioparticles using high-frequency electric and magnetic fields.**

Specific polarizability of bioparticles is, as a rule, much higher than the polarizability of inorganic particles. This distinction serves the basis of separation of different particles in the process of their sampling in the top atmosphere and in cosmos.

We discuss a possibility of their further (after retarding) spatial separation according to the degree of polarization.

The device is somewhat similar to well-known scheme of mass-spectrometer. But in the device under consideration the neutral particles are deviated instead of the charged ones, and as the deviating field, a superposition of alternating electric and magnetic fields is used. Under exposure to the alternating electric field, the polarization current is induced, which interacts with the orthogonal phased magnetic field, and a particle occurs under action of a diverting force proportional to the particle polarizability.