

*Ягафарова З.А.,
кандидат физико-математических наук,
доцент кафедры «Общая и теоретическая физика»
Башкирский Государственный Университет
Стерлитамакский филиал
Россия, г. Стерлитамак*

*Рахматуллина А.С.,
студент 2 курс,
«Естественнонаучный» факультет*

*Финогеев А.В.,
студент 4 курс,
«Естественнонаучный» факультет
Россия, г. Стерлитамак*

ЭНТРОПИЯ БИОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

***Аннотация:** в статье рассматривается энтропия биологических систем и её влияние на биологические процессы.*

***Ключевые слова:** энтропия, биологические системы, термодинамика, жизнь.*

***Annotation:** the article deals with the entropy of biological systems and its effect on biological processes.*

***Keywords:** entropy, biological systems, thermodynamics, life.*

В течение длительного времени считали, что второй закон термодинамики неприменим к биологическим системам, т.к. согласно этому закону в системах могут происходить лишь процессы, связанные с рассеиванием энергии, с уменьшением свободной энергии, с уменьшением градиентов. В конечном итоге эти процессы приводят к установлению термодинамического равновесия. В

организме, однако, происходят как градиентные процессы (пассивный транспорт веществ), так и противоградиентные процессы (активный транспорт веществ). Работоспособность биологических систем также не уменьшается со временем, т.е. с точки зрения классической термодинамики жизнь – это невероятное состояние. Все процессы в системе должны приближаться к термодинамическому равновесию, что применительно к живым организмам означает приближение к смерти. Но все это только кажущееся несоответствие, так как организм человека и другие живые организмы являются открытыми системами, а законы термодинамики были разработаны для изолированных и закрытых систем. В связи с этим термодинамика живых организмов может быть рассмотрена как термодинамика открытых систем [1, с.165]. Теория открытых систем была разработана Колосовским, Де Донде, И. Пригожиным. Открытая система обменивается с окружающей средой и веществом и энергией, поэтому общее изменение свободной энергии dF и энтропии dS в такой системе разделяется на две части:

$$dF = dF_i + dF_e ; dS = dS_i + dS_e ; \quad (1)$$

где dF_i и dS_i – обусловленные процессами, протекающими внутри системы; dF_e и dS_e , обусловленные взаимодействием с окружающей средой.

Многие ученые используют понятие отрицательная энтропия, считая при этом, что в организме постоянно продуцируется положительная энтропия, а из окружающей среды в организм постоянно поступает отрицательная энтропия. Следует отметить, что отрицательная энтропия в биофизике понятие условное, под которым следует понимать не запас упорядоченности, а свободную энергию, поступающую с пищей. Так как все биохимические и биофизические процессы в организме являются необратимыми, то $dF_i < 0$, а $dS_i > 0$. При наличии биосинтеза в организме может наблюдаться местное уменьшение энтропии и увеличение свободной энергии, но это происходит лишь за счет увеличения S и уменьшения F в другой части организма. Причем подобные процессы носят локальный характер. Таким образом, эта оговорка не изменяет общего правила, согласно которому протекание суммарного процесса в организме сопровождается

уменьшением F и увеличением S . Восполнение свободной энергии происходит за счет поступления в организм питательных веществ, а выведение энтропии осуществляется за счет выведения конечных продуктов обмена и теплоты. Энтропия в организме может оставаться постоянной величиной, может увеличиваться и может даже уменьшаться, однако во всех случаях энтропия системы "организм – среда" возрастает, что находится в полном соответствии со вторым законом термодинамики [2, с.289].

Уравнение (1) можно записать в следующем виде:

$$\frac{dS}{t} = \frac{dS_i}{t} + \frac{dS_e}{t}. \quad (2)$$

Это уравнение является математическим выражением 2-го закона термодинамики для живых организмов, т.е. скорость изменения энтропии в организме равна алгебраической сумме скорости производства энтропии внутри организма и скорости поступления отрицательной энтропии из среды в организм.

Определенные соотношения скоростей химических процессов обуславливают такое состояние живого организма, при котором различные физико-химические показатели и различные градиенты остаются на одном уровне. Иначе говоря, живые организмы обладают известной устойчивостью. Поэтому для нас важно такое состояние системы, когда скорость производства энтропии равна скорости поступления отрицательной энтропии из среды в систему $\frac{dS_i}{t} = -\frac{dS_e}{t}$ и тогда $\frac{dS}{dt} = \frac{dS_i}{dt} + \frac{dS_e}{dt}$, (3) т.е. общее изменение энтропии системы равно нулю.

Состояние системы, при которой параметры ее со временем не изменяются, но происходит обмен веществом и энергией с окружающей средой, называется стационарным. Уравнение (3) является уравнением стационарного состояния. Сходство термодинамического равновесия и стационарного состояния заключается в том, что параметры, как в том, так и в другом случае, не меняются во времени. Но постоянство параметров при стационарном

состоянии достигается не в результате отсутствия всяких направленных процессов, как при термодинамическом равновесии, а в результате того, что скорость и направленность этих процессов постоянны и взаимоуравновешены. По существу, гомеостаз – это стационарное состояние организма. Стационарное состояние присуще не только организму в целом, но и отдельным его клеткам. Вследствие необратимости процессов в организме скорость производства энтропии внутреннего больше нуля:

$$\frac{dS_i}{dt} > 0. \quad (4)$$

Пригожин на основе изучения открытых систем сформулировал основное свойство стационарного состояния: в стационарном состоянии скорость возрастания энтропии, обусловленной протеканием необратимых процессов, имеет положительное и минимальное из возможных значений [3, с.211].

Это положение получило название теоремы Пригожина, так как энтропия является мерой рассеивания свободной энергии, но при стационарном состоянии рассеивание свободной энергии бывает минимальным. Система для поддержания стационарного состояния требует минимального из всех возможных значений притока свободной энергии. Организм стремится работать на наиболее выгодном энергетическом уровне.

Стремление энтропии к минимальной величине ведет к тому, что при любом отклонении от стационарного состояния в системе наступают такие внутренние изменения, которые будут стремиться вернуть ее к минимуму производства энтропии и приближать систему вновь к стационарному состоянию. Система сама настраивается на наиболее выгодный, устойчивый термодинамический режим функционирования. Это свойство системы называется аутостабилизацией. Например, повышение температуры внешней среды действует на механизмы терморегуляции и приводит к уменьшению организмом теплопродукции к увеличению теплоотдачи. Стационарное состояние поддерживается в организме на основе обратной связи. Воздействие внешних факторов может изменить уровень стационарного состояния, однако

эти изменения должны лежать в пределах физиологических норм, которые обусловлены совершенством ауторегулирующих механизмов их возможностями. Если ауторегулирующие механизмы способны поддерживать стационарное состояние биологической системы, при данном изменении внешних условий, то организм адаптируется к этим условиям, в противном случае в организме могут произойти патологические изменения, а возможно и его гибель [4, с.233].

Биологические системы постоянно обмениваются веществом и энергией с окружающей средой и к изолированным системам не относятся, поэтому применение второго начала термодинамики к живым системам оспаривалось некоторыми учеными. Однако большинство исследователей приходят к выводу, что рассмотрение жизненных процессов с точки зрения этого принципа является весьма плодотворным [5, с.188].

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Рубин А.Б. Термодинамика биологических процессов. М.: Наука, 1984. –165с.
2. Николис Г., Пригожин И. Самоорганизация в неравновесных системах. М.: Наука,1979. –289с.
3. Бауэр Э.С. Теоретическая биология. М.: Росток. 2002.–211с.
4. Базаров И.П. Термодинамика. М.: Высшая школа, 1991. –233с.
5. Рубин А.Б. Биофизика. – М.: Наука, 1988. –188с.