

АБ

ИНСТИТУТ МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ
МИНИСТЕРСТВА ЗДРАВООХРАНЕНИЯ СССР

96736

На правах рукописи

К. С. ТРИНЧЕР

БИОЛОГИЧЕСКАЯ ТЕРМОДИНАМИКА

ЧАСТЬ ПЕРВАЯ

БИОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИЯ,
ЭЛЕМЕНТЫ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ТЕРМОДИНАМИКИ

(Издание второе, переработанное и дополненное)
Издательство «Наука» Москва 1965

ЧАСТЬ ВТОРАЯ

ТЕПЛООБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ ФУНКЦИЯ
И ЩЕЛОЧНОСТЬ РЕАКЦИИ ЛЕГОЧНОЙ ТКАНИ

Издательство Академии наук СССР
Москва 1960

ДОКЛАД ДИССЕРТАЦИИ
НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ
ДОКТОРА БИОЛОГИЧЕСКИХ НАУК

Москва—1968

2
10/IX-68
2

54097K

96736

ИНСТИТУТ МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ
МИНИСТЕРСТВА ЗДРАВООХРАНЕНИЯ СССР

На правах рукописи

К. С. ТРИНЧЕР

БИОЛОГИЧЕСКАЯ ТЕРМОДИНАМИКА

ЧАСТЬ ПЕРВАЯ

БИОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИЯ,
ЭЛЕМЕНТЫ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ТЕРМОДИНАМИКИ

(Издание второе, переработанное и дополненное)
Издательство «Наука» Москва 1965

ЧАСТЬ ВТОРАЯ

ТЕПЛООБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ ФУНКЦИЯ
И ЩЕЛОЧНОСТЬ РЕАКЦИИ ЛЕГОЧНОЙ ТКАНИ

Издательство Академии наук СССР
Москва 1960

ДОКЛАД ДИССЕРТАЦИИ
НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ
ДОКТОРА БИОЛОГИЧЕСКИХ НАУК

Москва — 1968

720027

Работа выполнена в Институте биологической физики АН СССР

Официальные оппоненты:

Академик В. В. ПАРИН

Член-корреспондент

АН БССР А. И. ВЕЙНИК

Доктор биологических наук

профессор А. Н. СТУДИЦКИЙ

Защита состоится «18» апреля 1968 года
на заседании Ученого Совета Института медико-биологических проблем
МЗ СССР по адресу: Неговский пер. 3/5
Доклад разослан _____

Дом офицеров
Военно-воздушных
сил Академии наук

Муковского

10 лет

Адрес для отправки:

Москва Д-7, Королевские шоссе, 78
Институт медико-биологических
проблем, казачий отдел



746045

а

ВВЕДЕНИЕ

1. Биологическая термодинамика представляет собой новую научную дисциплину, которая устанавливает наиболее общие физические закономерности, лежащие в основе всех физиологических явлений. Законы, устанавливаемые биологической термодинамикой, имеют фундаментальное значение для понимания физической сущности живой материи.

Изучая физические закономерности, лежащие в основе физиологических процессов животного организма на любом уровне его филогенетического и онтогенетического развития, биологическая термодинамика исходит из первого начала термодинамики как фундамента всего естествознания: закона сохранения и превращения энергии. Будучи теоретическим обобщением результатов громадного количества экспериментов и наблюдений, первое начало термодинамики приобрело характер аксиомы. Аксиоматичность первого начала заключается в его экстраполяции на будущие эксперименты и наблюдения. Любые будущие открытия о ныне неизвестных формах и превращениях энергии никогда не должны вести к отказу от первого начала термодинамики. Какое бы превращение одной формы энергии в другую не происходило бы, сумма всех форм энергии, выраженных в эквивалентных единицах, является постоянной величиной.

Превращение энергии из одной формы в другую, изученное в процессах неживой природы, происходит различными способами. Особый интерес для техники имеют два способа превращения энергии: микроскопический и макроскопический. Микроскопический способ превращения энергии представляет собой производство тепла, и макроскопический способ превращения энергии — выполнение работы. Тепло и работа не суть «формы энергии», а являются способами передачи энергии. Система, выполняющая передачу энергии макроскопическим способом, т. е. через работу, является, *eo ipso*, макроскопической системой. Функционирующая машина есть, следовательно, макроскопическая система, которая расходует энергию для выполнения внешней работы.

Изучение макро- и микроскопических способов передачи энергии, работы и тепла, с целью технического усовершенствования машин как производителей внешних работ, привело к сформулированию первого начала термодинамики в виде следующего уравнения:

$$dU = \partial A + \partial q \quad (1)$$

где dU полный дифференциал функции состояния системы, внутренней энергии U . Полный дифференциал внутренней энергии dU означает, что состояние системы с первоначальной внутренней энергией U_1 переходит в конечное состояние с внутренней энергией U_2 . Эти два состояния системы отличаются друг от друга разностью dU .

Передача энергии происходит, согласно ур. (1), макроскопическим и микроскопическим способами, через работу ∂A и через тепло ∂q . Способы передачи энергии — работа и тепло — в результате изменения состояния системы от U_1 до U_2 , не являются функциями состояния и появившиеся при переходе системы из начального состояния U_1 в конечное состояние U_2 работа ∂A и тепло ∂q не являются полными дифференциалами. Символом ∂ обозначают частный дифференциал, т. е. возрастание величины, не имеющей характер функции состояния макроскопической системы.

Работа, выполняемая системой, является внешней работой, которая обязательно сопровождается возникновением тепла. В ходе выполнения внешней работы ∂A возникает тепло $\partial q'$, которое имеет локальное происхождение в самой работающей системе. Локальное происхождение тепла в работающей системе связано с трением и частичным рассеиванием энергии. Локальное возникновение тепла это неминуемый побочный процесс в ходе совершения внешней работы. Это тепло, которое возникает в системе из-за трения и диссипации энергии и неминуемо сопровождает рабочий процесс, было названо «некомпенсированным» теплом. В отличие от «некомпенсированного» тепла, которое является паразитным спутником внешней работы, существует тепло, которое возникает из внутренней энергии системы и не связано с выполнением внешней работы. Это тепло называется «компенсированным». Мы имеем, следовательно, два вида тепла, некомпенсированное, обозначенное

$$\partial q'$$

которое связано с выполнением внешней работы

$$\partial A$$

и компенсированное тепло, обозначенное

$$\partial Q$$

которое является результатом непосредственного превращения внутренней энергии системы в тепло, когда система не совершает

внешнюю работу:

$$dU = \partial Q$$

Тепло ∂q в ур. (I) представляет собой сумму из некомпенсированного и компенсированного тепла:

$$\partial q = \partial q' + \partial Q. \quad (2)$$

Рассмотрим теперь оба способа передачи энергии — выполнение внешней работы и производство тепла — как процессы, которые протекают во времени. Вводя фактор времени в описание процессов энергопревращения, мы получим вместо разности внутренней энергии dU скорость уменьшения внутренней энергии $\frac{dU}{dt}$, где dt означает разность времени. Соответственно получим для правой части ур. (I), содержащей сумму из двух частных дифференциалов ∂A и ∂q , сумму из двух скоростей: вместо работы ∂A получим скорость выполнения внешней работы $\frac{\partial A}{\partial t}$, и вместо тепла ∂q получим скорость производства тепла $\frac{\partial q}{\partial t}$. Вводя фактор времени в ур. (I), получим уравнение, которое описывает конкретный процесс, протекающий необратимо во времени:

$$\frac{dU}{dt} \rightarrow \frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial q}{\partial t} \quad (3)$$

Стрелка указывает на то, что процесс превращения внутренней энергии системы в внешнюю работу и тепло, является необратимым процессом, т. к. производство тепла $\frac{\partial q}{\partial t}$ содержит составляющую $\frac{\partial q'}{\partial t}$, т. е. производство некомпенсированного тепла, которое связано с выполнением внешней работы.

2. В результате необратимого процесса — возникновения некомпенсированного тепла $\partial q'$ за время ∂t , функция состояния системы, названная энтропией и обозначенная символом S , за это же время увеличивается. Увеличение функции состояния системы — энтропии — со временем связано с производством тепла, как некомпенсированного $\partial q'$, так и компенсированного ∂Q . Эта связь между скоростью возникновения энтропии, как необратимого процесса и скоростью производства тепла определяется, согласно *de Donder*, следующим уравнением:

$$\left(\frac{dS}{dt}\right)_{\text{необр}} = \frac{1}{T} \left(\frac{\partial q'}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial t}\right). \quad (4)$$

В этом уравнении $\frac{1}{T}$ представляет собой, в математическом аспекте, интегрирующий множитель, превращающий сумму из частных дифференциалов $\partial q'$ и ∂Q в полный дифференциал dS .

В физическом аспекте величина T представляет собой абсолютную температуру и является мерой интенсивности теплового движения частиц, образующих термодинамическую систему.

Заменим скорость производства некомпенсированного и компенсированного тепла, согласно ур. (4), через скорость возникновения энтропии:

$$\frac{\partial q'}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial t} = T \left(\frac{dS}{dt} \right)_{\text{необр}} \quad (5)$$

При отсутствии производства некомпенсированного тепла имеем

$$\frac{\partial Q}{\partial t} = T \left(\frac{dS}{dt} \right)_{\text{обр}} \quad (6)$$

Подставляя (5) в (3) и учитывая ур. (2), получим

$$\frac{dU}{dt} \rightarrow \frac{\partial A}{\partial t} + T \left(\frac{dS}{dt} \right)_{\text{необр}} \quad (7)$$

Ур. (7) представляет собой объединенные первое и второе начала термодинамики. Это наиболее общее уравнение физики имеет фундаментальное значение для понимания процессов энергопревращения, протекающих в неживой природе.

Убеждение в фундаментальном значении уравнения (7) и в его универсальности привело к тому, что это уравнение считается справедливым и для описания процессов энергопревращения, протекающих в живой материи.

3. Анализ механизма тепловыделения из живой материи показывает, что уравнение (7), объединяющее первое и второе начала термодинамики, не имеет универсального значения. В ходе выполнения физиологических функций метаболизирующая клетка выделяет тепло, которое не имеет характер некомпенсированного тепла $\partial q'$, как это имеет место для любой работающей системы неживой природы. Метаболизирующая (работающая) клетка выделяет тепло, которое имеет характер только компенсированного тепла ∂Q .

В метаболизирующей клетке происходят своеобразные внутренние рабочие процессы, которые ответственны за создание и сохранение упорядоченной, и, одновременно, термолабильной структуры живой материи. Метаболизирующая клетка, сохраняя термолабильность своей структуры активно выделяет тепло, имеющее характер только компенсированного тепла. Внутриклеточные рабочие процессы протекают без производства некомпенсированного тепла $\partial q'$.

Главным по массе компонентом метаболизирующей клетки является внутриклеточная вода, которая в ходе клеточного метаболизма выполняет микрофазовые переходы: кристалл \rightarrow жидкость,

и жидкость \rightarrow кристалл. Эти микрофазовые переходы внутриклеточной воды коррелируют с процессами энергопревращения: при микрофазовом переходе внутриклеточной воды: кристалл \rightarrow жидкость, метаболизирующая клетка расходует свободную (химическую) энергию питательных веществ, и при микрофазовом переходе внутриклеточной воды: жидкость \rightarrow кристалл, метаболизирующая клетка активно выделяет тепло, имеющее характер компенсированного тепла. Внутриклеточная вода функционирует, таким образом, как своеобразный преобразователь энергии, который выполняет и внутриклеточную работу dA , используя свободную энергию dE , и выделяет при фазовом переходе: жидкость \rightarrow кристалл компенсированное тепло dQ .

Скорость расходования свободной энергии клеткой $\frac{dE}{dt}$, скорость выполнения внутриклеточной работы $\frac{dA}{dt}$ и скорость производства компенсированного тепла $\frac{\partial Q}{\partial t}$ в внешней среде связаны между собой и проявляются как единый процесс энергопревращения в живой материи. Учитывая ур. (6):

$$\frac{\partial Q}{\partial t} = T \left(\frac{dS}{dt} \right)_{\text{обр}} \quad (6)$$

мы получим в итоге следующее уравнение, описывающее процесс энергопревращения метаболизирующей клетки:

$$\frac{dE}{dt} \rightarrow \frac{dA}{dt} \rightarrow T \left(\frac{dS}{dt} \right)_{\text{обр}} \quad (8)$$

где $\frac{dE}{dt}$ означает скорость расходования свободной (химической) энергии питательных веществ в живой материи, $\frac{dA}{dt}$ выполнение внутренних рабочих процессов в метаболизирующей клетке, и $\left(\frac{dS}{dt} \right)_{\text{обр}}$ скорость возникновения энтропии вне метаболизирующей клетки.

Сравнивая ур. (8) и ур. (7), мы видим коренное различие между процессами превращения энергии в работающем элементе живой природы, в метаболизирующей клетке, и процессами превращения энергии в работающих системах неживой природы. В то время как возникновение энтропии является неминуемым событием, происходящим в самой работающей системе неживой природы, в живой материи, внутри метаболизирующей клетки, не возникает энтропия. Возникновение энтропии в связи с жизнедеятельностью организма представляет собой событие, имеющее место вне и только вне клетки.

Функция состояния энтропии не существует в живой материи. Именно в этом, в отсутствии функции состояния энтропии, со-

стоит главное, наиболее существенное физическое различие между живой и неживой материи, как в естественно-научном плане, так и в обще-философском плане о несводимости законов живой природы к законам физики и химии неживой природы.

Состояние живой материи характеризуется новой термодинамической функцией, биологической негэнтропией или функцией биологического упорядочения: $S_{\text{бионег}}$.

Внутриклеточные рабочие процессы dA , которые ответственны за создание и сохранение упорядоченной и, одновременно, термолабильной структуры живой материи, связаны с функцией биологической негэнтропии $S_{\text{бионег}}$ следующим уравнением:

$$\frac{1}{m(t)} \frac{dA}{dt} = \frac{T_{\text{кл}}}{\bar{\rho} l(t)} \frac{dS_{\text{бионег}}(t)}{dt} \quad (9)$$

где t время онтогенеза; $m(t)$ масса организма, являющаяся возрастающей функцией от времени в фазах эмбриогенеза и роста; $T_{\text{кл}}$... температура клетки; $\bar{\rho}$ средняя плотность живой материи, и $l(t)$ линейный параметр роста организма. Функция биологической негэнтропии или биологического упорядочения $S_{\text{бионег}}(t)$ является возрастающей функцией от времени в фазах эмбриогенеза и роста организма. $S_{\text{бионег}}(t)$ имеет размерность: *кал. град⁻¹ · см⁻²*.

Объектами наших термодинамических исследований являются организмы разной степени сложности, и организмы, находящиеся в различных фазах существования. Эти объекты следующие:

1. Наиболее сложный представитель живой природы — многоклеточный животный организм в условиях существования, охватывающих все фазы онтогенеза — эмбриогенез, рост и стационарное состояние взрослой особи.

2. Наиболее простой представитель живой природы — безъядерный эритроцит млекопитающих, который выполняет свои физиологические функции, циркулируя в течение своей жизни в кровяном русле.

3. Теплокровное животное в стационарных условиях существования. Исследовалось влияние различных факторов (питание, голодание, температура комфорта, низкая температура, пониженное парциальное давление кислорода в вдыхаемом воздухе) на энергообмен гомойотермного организма.

Термодинамические исследования наиболее сложного и наиболее простого представителей живой природы — многоклеточного животного организма и безъядерного эритроцита, изложены в монографии:

«Биология и информация.

Элементы биологической термодинамики».

Термодинамические исследования энергообмена теплокровного организма при различных условиях изложены в монографии:

«Теплообразовательная функция и щелочность реакции легочной ткани».

В настоящем докладе приводим результаты термодинамических исследований, опубликованных в обеих монографиях. Эти результаты изложены в следующих главах:

Глава первая

Основные положения биологической термодинамики

Глава вторая

К термодинамике безъядерного эритроцита

Глава третья

К термодинамике гомойотермного состояния
(Теплообразовательная функция
легких)

Глава первая

**ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ БИОЛОГИЧЕСКОЙ
ТЕРМОДИНАМИКИ**

1. Живая материя как объект термодинамического исследования представляет собой макроскопическую систему. Понятие биологической макросистемы охватывает организмы любых размеров. Биологической макросистемой является гигантский по сравнению с клеткой организм взрослого животного, и биологической макросистемой является также оплодотворенная яйцеклетка, из которой развивается многоклеточный организм. Макроскопичность живой материи в виде одноклеточного или многоклеточного организма означает, во-первых, что живая материя состоит из множества составляющих ее элементов и во-вторых, что живая материя — клетка или многоклеточный организм — имеет поверхность раздела, ограничивающую ее от внешней среды.

Кроме свойств макроскопичности и поверхности раздела живая материя обладает еще одним необходимым свойством, на основе которого организм поддается термодинамическому анализу. Это свойство — энергообмен. Мы имеем, таким образом, три свойства, которые позволяют изучать живую материю методом термодинамики: макроскопичность, наличие поверхности раздела, и энергообмен. Эти три свойства являются достаточными для определения живой материи как физической системы, имеющей характер термодинамической фазы.

Физическое определение живой материи как термодинамической фазы имеет важное гносеологическое значение. Проблема

жизни, как известно, стоит перед исследователями в двух аспектах: во-первых, как проблема существования саморегулирующейся, саморазвивающейся и размножающейся системы, выполняющей бесчисленно многие функции, неограниченные по разнообразию и сложности, и, во-вторых, как проблема возникновения жизни из неживой материи. Эти две проблемы, хотя они безусловно связаны между собой, ставят перед исследователями различные задачи. При этом оказывается, что проблема существования живой материи, как сложной саморегулирующейся, развивающейся и размножающейся системы, значительно проще, чем вторая проблема — возникновение живой материи из неживой. Задача, поставленная первой проблемой, заключается, по существу, в объяснении всех физиологических функций организма на основе физических представлений. Эту задачу можно считать в принципе разрешенной, если обратить внимание только на внешнюю функциональную сторону в жизнедеятельности организма.

Функциональная деятельность организма как явление, поддающееся исследованию, может быть представлена как сумма внешних рабочих процессов. Действительно, любая функция организма или отдельного органа имеет характер определенной внешней работы, и, тем самым, может быть моделирована. Искусственно созданный механизм, выполняющий согласно вложенной в него программы определенную работу, в принципе, т. е. по функциональному тесту, неотличим от организма, выполняющего ту же самую работу в виде физиологической функции. Итак, по функциональной деятельности, которая представляется в виде разнообразных внешних работ, как например, осмотической работы почек или мышления человеческого мозга*, мы не можем различать живую и неживую материю. В функциональном отношении живой организм и имитирующая его кибернетическая модель неразличимы. На эту функциональную идентификацию, в строго гносеологическом плане, на тождественность выполнения функции живым организмом или искусственно созданным механизмом, было обращено внимание в работах математиков и кибернетиков (Винер, Колмогоров, Ляпунов).

Вторая задача в решении проблемы жизни — возникновение живой материи из неживой — значительно сложнее. Французский физик Шамбадаль, в недавно вышедшей у нас книге под названием: «Развитие и приложения понятия энтропии» (1967), пишет: «...Укажем только, что, с нашей точки зрения, генезис жизни может относиться к проблемам, которые нам кажутся неразрешимым потому, что они плохо поставлены».

В этой ситуации, когда мы выдвигаем теоретическое положение о том, что живая материя представляет собой не молекулярную, а макроскопическую систему, имеющую характер термодина-

* См. А. Тьюринг «Может ли машина мыслить». ФП. 1960.

мической фазы, проблема возникновения жизни приобретает совершенно новый физический и гносеологический аспекты.

Проблема возникновения жизни не есть пробирочная проблема и не решается на уровнях физики и химии биологических макромолекул. Эта проблема более общего и более грандиозного масштаба. Если жизнь возникла как фазовый переход, то в этом процессе участвовали не только те вещества, совокупность которых, в результате фазового перехода, образует новую фазу — живую материю, но и все те вещества, которые образуют внешнюю среду, соприкасающуюся с живой материей. Возникновение жизни представляется нам не как локальный планетарный процесс, а как уникальное космическое событие.

2. Рассмотрим наиболее общее физическое свойство живой материи — свойство тепловыделения. Это свойство наблюдается у всех метаболизирующих клеток. В чем бы ни заключалась жизнедеятельность организма, любые физиологические функции на любом уровне филогенетического и онтогенетического развития сопровождаются выделением тепла. Производство тепла, отнесенного к единице массы живой материи, является наиболее общим показателем интенсивности энергообмена организма. Этот показатель — удельная теплопродукция живой материи — заслуживает нашего самого пристального внимания.

Биологическая термодинамика как новая самостоятельная научная дисциплина берет свое начало с изучения удельной теплопродукции развивающегося организма. Мы обратили внимание на следующее любопытное явление: при стационарных условиях температурного режима, растущий организм должен выделять тем меньше тепла, рассчитанного на единицу массы, чем больше масса растущего организма. Взрослый организм обладает наименьшей удельной теплопродукцией. Например, взрослый человек выделяет ~ 50 ккал на кг в сутки, а годовалый ребенок ~ 100 ккал на кг в сутки. Уменьшение удельной теплопродукции у растущего тела при стационарных условиях температурного режима объясняется элементарно на основе геометрических представлений.

Однако, проблема о связи между удельной теплопродукцией и ростом организма возникает тогда, когда мы рассматриваем организм не в фазе роста после рождения, а в фазе эмбриогенеза, начиная с момента оплодотворения яйцеклетки.

Эмбрион развивается в стационарных условиях в материнском организме у теплокровных животных или в водоеме у холоднокровных. Оплодотворенная яйцеклетка, дающая начало онтогенетического развития, является частью материнского организма и не может иметь более интенсивную удельную теплопродукцию, чем материнский организм. Но, начиная с момента оплодотворения яйцеклетки масса живой материи непрерывно возрастает и, вследствие этого, удельная теплопродукция должна непрерывно падать. Мы получаем следующее противоречие: удельная теплопродукция

у растущего организма должна непрерывно уменьшаться по мере роста живой материи, а удельная теплопродукция в начале роста, т. е. у оплодотворенной яйцеклетки, уже была наименьшая, как у взрослого организма. Существует только одна возможность устранить это противоречие. Единственная возможность устранения этого противоречия заключается в следующем, сформулированном нами постулате: Удельная теплопродукция у всех животных, обладающих фазами развития — эмбриогенезом, ростом и фазой взрослого состояния, — должна проходить через максимум. Этот предсказанный нами на основе термодинамических представлений закон, который описывает удельную теплопродукцию организма как функцию от времени онтогенеза, наблюдается у всех животных.

Исследуем теперь методом термодинамики явление тепловыделения из живой материи в ходе развития организма, исходя из простейших геометрических представлений о росте живой материи.

Величина теплового потока, который выделяется из поверхности метаболизирующей клетки, равна, согласно первому закону термодинамики, количеству тепла, которое продуцирует живая клетка. Равенство между теплопродукцией и тепловым потоком из поверхности тела в окружающую его среду описывается калорическим уравнением:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} = kF \frac{dT}{dx}, \quad (1a)$$

где $\frac{\partial Q}{\partial t}$ скорость возникновения тепла, которое образуется за счет поступившей в тело энергии, F поверхность тела, и $\frac{dT}{dx}$ градиент температуры у поверхности тела в направлении к окружающей среде. k представляет собой коэффициент теплопроводности того вещества, из которого состоит теплопродуцирующее тело.

Принимаем ур. (1a) для простейшего по форме тела — для шара, и отнесем величину теплопродукции к единице массы шаровидного тела:

$$\frac{1}{m} \frac{\partial Q}{\partial t} = k \frac{F}{m} \frac{dT}{dx}. \quad (1б)$$

Произведем замены

$$m = \rho V = \rho \frac{4}{3} r^3 \pi \quad (2)$$

$$F = 4r^2 \pi$$

где ρ плотность вещества, из которого состоит тело, V объем, F поверхность и r радиус шара.

Подставляя (2) в (1б), получим уравнение, связывающее удельную теплопродукцию шаровидного тела с тепловым потоком

из единицы его массы:

$$\frac{1}{m} \frac{\partial Q}{\partial t} = C \frac{1}{r} \quad (3)$$

где

$$C = \frac{3k}{\rho} \frac{dT}{dx} = \text{const},$$

Для растущего во времени шара получим

$$\frac{1}{m(t)} \frac{\partial Q}{\partial t} = C \frac{1}{r(t)}, \quad (4)$$

где $m(t)$ и $r(t)$ масса и радиус, возрастающие с временем. Очевидно, что при постоянном температурном режиме и неизменном

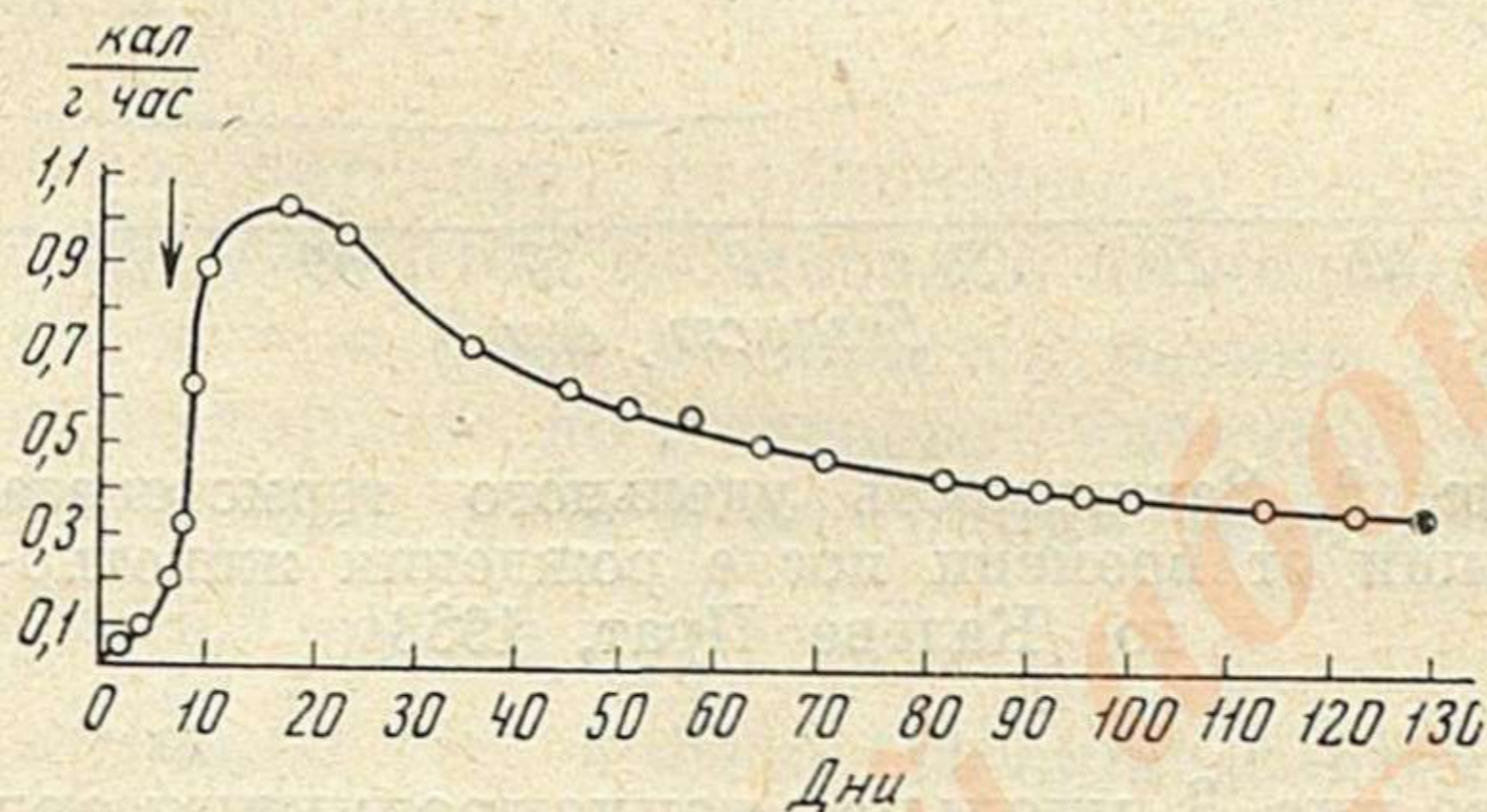


Рис. 1. Зависимость удельного термогенеза земневодных животных от времени в течение онтогенеза /Gayda, 1921; цит. по Needham, 1931/

На оси абсцисс указаны дни после оплодотворения яйцеклетки; стрелка — момент вылупления животного

во времени составе растущего шаровидного тела удельная теплопродукция уменьшается по мере возрастания радиуса шара, согласно ур. (4).

Попробуем теперь применить ур. (1б), справедливое для теплопродуцируемого тела неживой природы, для описания зависимости удельной теплопродукции организма от времени онтогенеза t :

$$\frac{1}{m(t)} \frac{\partial Q}{\partial t} = \frac{F(t)}{m(t)} k \frac{dT}{dx}. \quad (5)$$

Масса живой материи непрерывно возрастает, начиная с массы оплодотворенной яйцеклетки и кончая массой взрослой особи. Экспериментально установлен характер изменения удельной теплопродукции организма в зависимости от времени в течение всего онтогенеза. Рис. 1 изображает зависимость удельной теплопродукции от времени у холоднокровного животного, начиная с момента

оплодотворения яйцеклетки и рис. 2 у теплокровного животного после рождения. На рис. 3 показан обобщенный результат экспериментальных исследований. Этот результат схематически изображен в виде функции

$$f(t) \equiv \frac{1}{m(t)} \frac{\partial Q}{\partial t},$$

где t время онтогенеза, начиная с момента оплодотворения яйцеклетки, обозначенного t_0 , и кончая моментом смерти животного, обозначенном t_k .

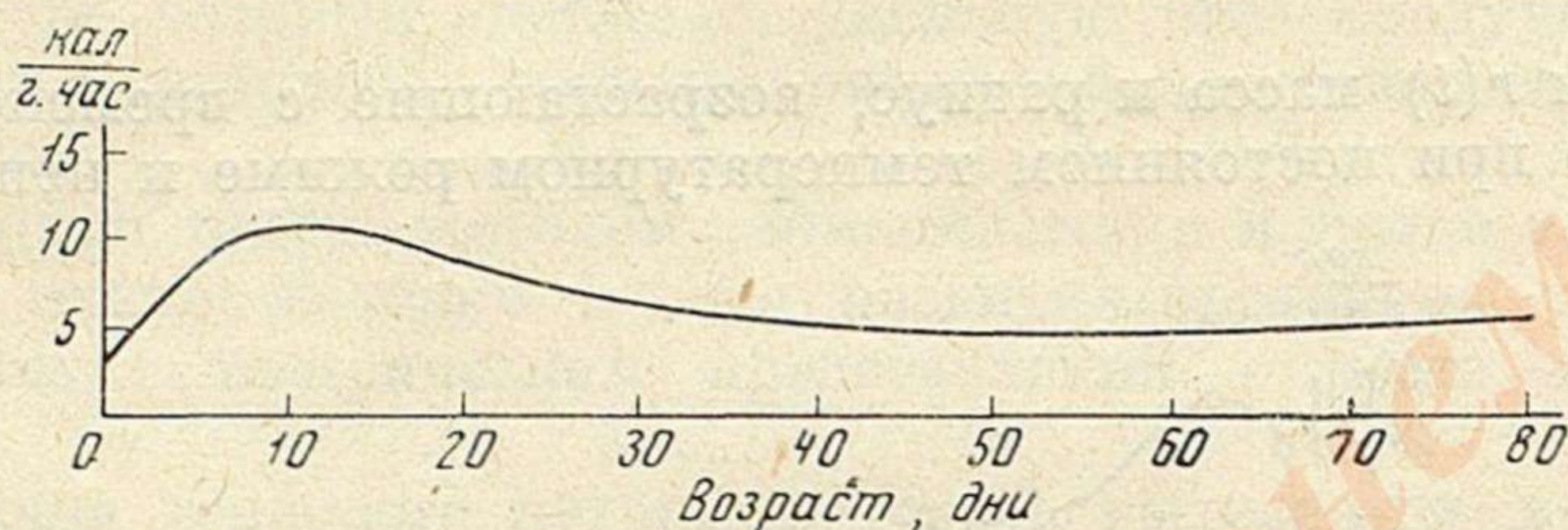


Рис. 2. Зависимость удельного термогенеза мышцы от времени после рождения животного /Кальве Прат, 1963/

Как видно из рис. 3, удельная теплопродукция организма имеет характер сложной функции от времени: $f(t)$ возрастает, проходит через максимум, убывает, становится постоянной величиной, убывает вторично и достигает нулевого значения.

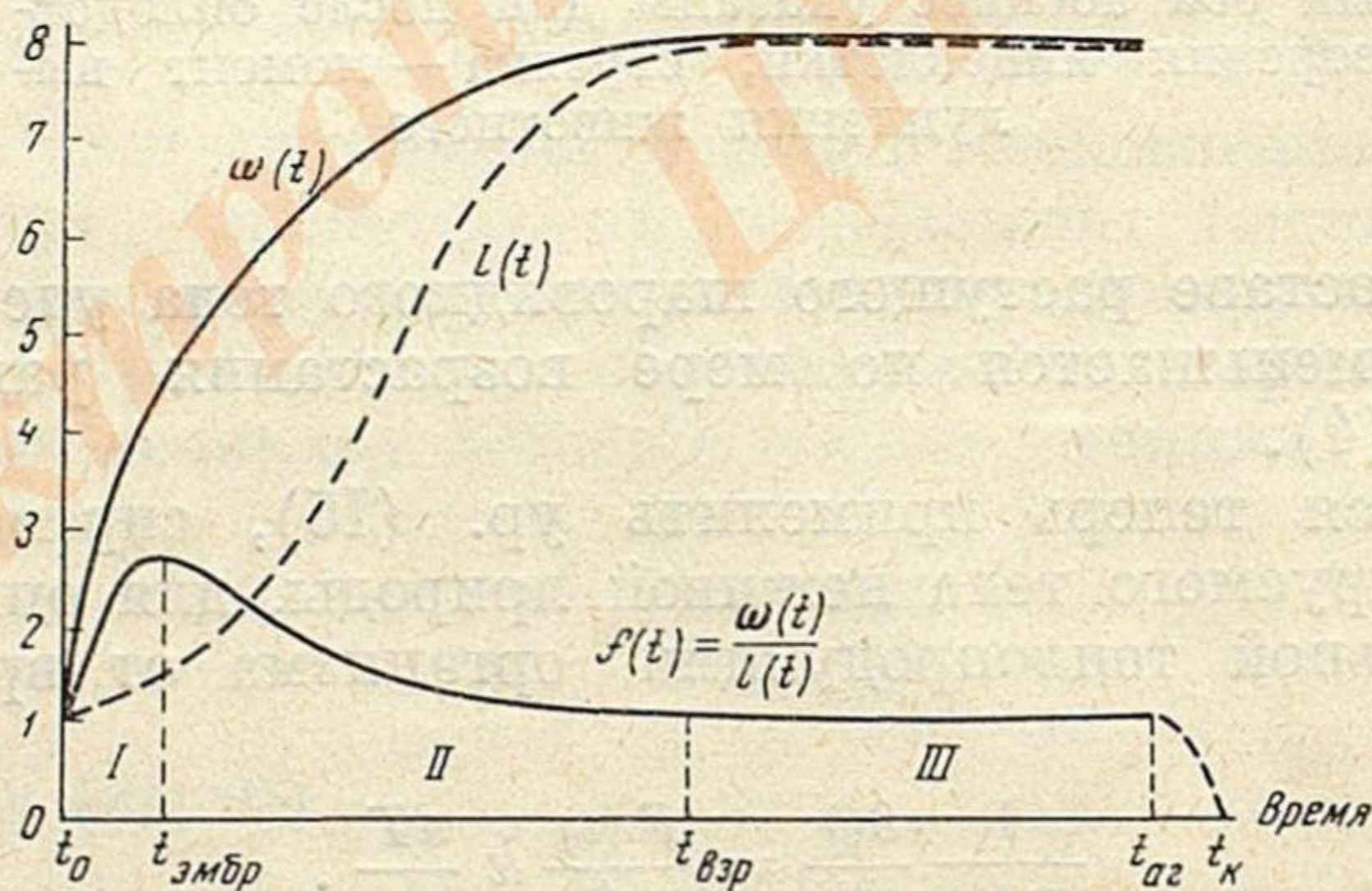


Рис. 3. Объяснение в тексте

3. Удельная теплопродукция организма как функция от времени онтогенеза может быть разделена на три участка, соответствующих трем различным фазам в жизни животного. Первая фаза (фаза: I) соответствует времени, в течение которого $f(t)$

непрерывно возрастает, начиная с момента t_0 и кончая моментом $t_{эмбр}$. Вторая фаза (фаза: II) соответствует времени, в течение которого $f(t)$ непрерывно уменьшается, начиная с момента $t_{эмбр}$ и кончая моментом $t_{взр}$. Третья фаза (фаза: III) соответствует времени, в течение которого $f(t)$ сохраняет постоянное значение, начиная с момента $t_{взр}$ и кончая моментом $t_{аг}$, после которого удельная теплопродукция катастрофически падает, достигая нулевого значения в моменте t_k .

Фаза I — начальная фаза в жизни животного — соответствует времени эмбриогенеза, когда рост живой материи сопровождается процессами морфологической и функциональной дифференциации растущего организма.

Фаза II — соответствует росту организма с уже оформившимися органами и функциями после рождения или вылупления животного.

Фаза III — соответствует стационарному состоянию взрослой особи и кончается моментом $t_{аг}$, началом агональной фазы в жизни животного. Агональная фаза отличается резким переходом функции $f(t)$ от стационарного до нулевого значения: мертвое тело не выделяет тепло, а находится в состоянии температурного равновесия с окружающей средой ($\frac{dT}{dx} = 0$).

Характер функции $f(t)$ в фазе III описывается ур. (3). Заменяя в ур. (3) радиус шара r некоторым постоянным во времени линейным параметром взрослого организма $l_{взр}$, получим:

$$f(t) \Big|_{t_{взр}}^{t_{аг}} \equiv \frac{1}{m_{взр}} \frac{\partial Q}{\partial t} = C \frac{1}{l_{взр}} = \text{const},$$

где $m_{взр}$ масса взрослого организма и C постоянная.

Характер функции $f(t)$ в фазе II, в течение которой $f(t)$ непрерывно уменьшается, описывается уравнением (4). Заменяя в ур. (4) радиус шара $r(t)$ некоторым линейным параметром роста организма $l(t)$, получим

$$f(t) \Big|_{t_{эмбр}}^{t_{взр}} \equiv \frac{1}{m(t)} \frac{\partial Q}{\partial t} = C \frac{1}{l(t)}.$$

Однако, описание функции $l(t)$ в фазе I, в течение которой $l(t)$ непрерывно возрастает, не удастся провести на основе общего калорического ур. (5).

Произведем следующие замены:

$$m(t) = \bar{\rho} V(t) \quad (6)$$

$$V(t) = l(t) \cdot F(t), \quad (7)$$

где $\bar{\rho}$ средняя плотность живой материи, которая незначительно изменяется по сравнению с громадным возрастанием объема организма $V(t)$ в течение эмбриогенеза и роста.

Подставляя (6) и (7) в (5), получим

$$\frac{1}{m(t)} \frac{\partial Q}{\partial t} = \frac{1}{\rho} \cdot \frac{1}{l(t)} \cdot k \frac{dT}{dx}. \quad (8)$$

Ур. (8) описывает зависимость удельной продукции организма от времени для всех фаз онтогенеза, если заменить $k \frac{dT}{dx}$ через некоторую функцию от времени $w(t)$:

$$\frac{1}{m(t)} \frac{\partial Q}{\partial t} = \frac{1}{\rho} \cdot \frac{w(t)}{l(t)}. \quad (9)$$

Поскольку $\frac{1}{m(t)} \frac{\partial Q}{\partial t}$ и $l(t)$ могут быть определены на основе калориметрических данных и данных о росте массы и росте поверхности организма можно на основе ур. (9) определить функцию $w(t)$. На рис. 3 схематически показаны все три функции: $f(t)$, $l(t)$ и $w(t)$.

Переходим теперь к изучению физического смысла введенной нами функции $w(t)$.

4. Для раскрытия физического смысла функции $w(t)$ установим ее размерность на основе ур. (9). Из ур. (9) следует, что функция $w(t)$ имеет размерность: кал. сек⁻¹. см⁻². Физический смысл функции $w(t)$, согласно ее размерности, следующий: $w(t)$ означает производство тепла, отнесенного к единице поверхности, из которой тепло выделяется.

Обозначим теперь тепло, отнесенное к поверхности, из которой оно выделяется, символом — q_F , имеющим размерность: кал. см⁻², и введем новую функцию состояния $S_{\text{бионег}}$ согласно следующему определению:

$$\partial(-q_F) = T_{\text{кл}} dS_{\text{бионег}} \quad (10)$$

где $T_{\text{кл}}$ представляет собой, в математическом аспекте, интегрирующий множитель, и, в физическом аспекте, представляет собой температуру метаболизирующей клетки.

Функция состояния живой материи $S_{\text{бионег}}$ выражает физическое состояние метаболизирующей (работающей) клетки, которое обусловлено непрерывным выделением тепла.

Попытаемся дать физическую интерпретацию функции $S_{\text{бионег}}$, согласно которой приведенное тепло (кал. град⁻¹) относится к поверхности, из которой оно выделяется. Поверхности тепловыделения пронизывают все клеточное пространство. Клеточное пространство как-бы складывается из бесконечной суммы бесконечно тонких плоскостей, которые все вместе являются источниками тепла. В результате непрерывно идущих процессов тепловыделения все бесконечно тонкие «внутренние» поверхности клетки сохраняют упорядоченность своей структуры. Если по какой-либо при-

чине клетка перестала выделять тепло (гибель клетки), все внутренние поверхности клетки теряют упорядоченность своей структуры и совместно превращаются в гомогенную фазу.

На основе этих представлений мы считаем, что структура живой материи характеризуется двумя отличительными свойствами: неограниченной микрогетерогенностью и термолабильностью. Живая материя имеет неограниченно микрогетерогенную структуру, которая при температуре жизнедеятельности организма обладает свойством термолабильности.

Определим теперь функцию $w(t)$ через «отрицательное» тепло, отнесенное к поверхности, из которой оно выделяется: — q_F .

В силу соблюдения размерности имеем

$$\omega(t) = \frac{\partial(-q_F(t))}{\partial t}. \quad (11)$$

Подставляя в (11) значение $d(q_F(t))$ из (10), получим

$$\omega(t) = T_{\text{кл}} \frac{dS_{\text{бионер}}(t)}{dt}. \quad (12)$$

В фазах эмбриогенеза и роста $w(t)$ и, тем самым, $S_{\text{бионер}}(t)$ являются нарастающими функциями от времени. В фазах эмбриогенеза и роста происходят процессы, обуславливающие сохранение и возрастание массы упорядоченной термолабильной структуры живой материи.

В фазе стационарности взрослой особи имеем

$$\omega(t) \Big|_{t_{\text{взр}}}^{t_{\text{ар}}} = \omega_{\text{взр}} = \text{const},$$

и, тем самым,

$$\frac{dS_{\text{бионер}}(t)}{dt} \Big|_{t_{\text{взр}}}^{t_{\text{ар}}} = \text{const},$$

В фазе взрослой особи происходят процессы, обуславливающие только сохранение упорядоченности термолабильной структуры живой материи, достигшей постоянства своей массы.

Подставляя значение функции $w(t)$ согласно ур. (12) в калорическое уравнение (9), получим

$$\frac{1}{m(t)} \frac{\partial Q}{\partial t} = \frac{T_{\text{кл}}}{\bar{\rho}! (t)} \frac{dS_{\text{бионер}}(t)}{dt}, \quad (13)$$

где правая часть обозначает всю совокупность рабочих процессов, рассчитанных на единицу массы клетки, которая обеспечивает сохранение (и возрастание) упорядоченности термолабильной структуры живой материи.

Это положение мы выражаем следующей записью:

$$\frac{1}{m(t)} \frac{dA}{dt} \equiv \frac{T_{\text{кл}}}{\bar{\rho}l(t)} \frac{dS_{\text{бионег}}(t)}{dt}, \quad (14)$$

где $\frac{dA}{dt}$ символизируют внутриклеточные рабочие процессы.

Связь между внутриклеточными рабочими процессами и энергообменом с внешней средой дается следующими уравнениями:

$$\frac{dE}{dt} \rightarrow \frac{dA}{dt} \quad (15a)$$

и

$$\frac{dA}{dt} \rightarrow \frac{\partial Q}{\partial t}, \quad (15b)$$

где

$$\frac{\partial Q}{\partial t} = T_{\text{кл}} \left(\frac{dS}{dt} \right)_{\text{обр}}. \quad (16)$$

$\frac{dE}{dt}$ расход свободной (химической) энергии из окружающей среды; $\left(\frac{dS}{dt} \right)_{\text{обр}}$ возникновение энтропии в окружающей среде в связи с тепловыделением из клетки.

На основе (13), (14), (15a), (15b) и (16) выражаем клеточный метаболизм как совокупность следующих взаимосвязанных явлений: расходование энергии, внутриклеточные рабочие процессы и выделение тепла:

$$\frac{dE}{dt} \rightarrow \frac{dA}{dt} \equiv \frac{m(t) T_{\text{кл}}}{\bar{\rho}l(t)} \frac{dS_{\text{бионег}}(t)}{dt} \rightarrow T_{\text{кл}} \left(\frac{dS}{dt} \right)_{\text{обр}} \quad (17)$$

Как видно, ур. (17) коренным образом отличается от уравнения работающей системы неживой природы (см. введение):

$$\frac{dU}{dt} = \frac{\partial A}{\partial t} + T \left(\frac{dS}{dt} \right)_{\text{необр}}$$

Состояние живой материи не характеризуется функцией состояния энтропии. Состояние метаболизирующей клетки характеризуется новой функцией состояния $S_{\text{бионег}}$.

Как было изложено выше, функция биологической негэнтропии характеризует внутриклеточные рабочие процессы сохранения упорядоченной структуры живой материи, обладающей свойствами неограниченной микрогетерогенности и термолабильности при температуре жизнедеятельности организма.

Для сохранения своей неограниченно микрогетерогенной, упорядоченной и термолабильной структуры в живой материи функционирует некоторый специфический механизм, который обеспечивает активное выделение тепла. Веществом, которое осущест-

влияет этот механизм, может быть только внутриклеточная вода, составляющая главную массу клетки и образующая среду, в которой функционируют все остальные компоненты клетки. Обладая свойством микрофазовых переходов, внутриклеточная вода осуществляет активное выделение тепла.

Переходим теперь к выяснению физического механизма, который действует в метаболизирующей клетке и обеспечивает сохранение термолабильной упорядоченной структуры на основе поглощения свободной энергии и активного выделения тепла.

5. Физический механизм активного тепловыделения из клетки может быть объяснен только особым состоянием внутриклеточной воды. В метаболизирующей клетке происходят микрофазовые переходы воды в виде кристалл \rightarrow жидкость, и жидкость \rightarrow кристалл. Вода функционирует в клетке и как «рабочее вещество», которое выполняет фазовые переходы: кристалл \rightarrow жидкость \rightarrow кристалл \rightarrow жидкость \rightarrow ..., и как активный выделитель тепла при фазовом переходе: жидкость \rightarrow кристалл.

При превращении свободной (химической) энергии питательных веществ в тепло (компенсированное) живая материя выполняет внутриклеточные рабочие процессы сохранения упорядоченной термолабильной структуры; в основе этих процессов лежат микрофазовые переходы воды. Внутриклеточная вода служит, таким образом, своеобразным «преобразователем энергии», т. е. веществом, которое выполняет работу и выделяет тепло.

Корреляция между энергообменом клетки и микрофазовыми переходами внутриклеточной воды может быть представлена в виде следующей схемы:

А

Процессы превращения энергии	Термодинамические фазы	
	внеклеточная среда	метаболизирующая клетка
Скорость уменьшения свободной энергии	$\frac{dE}{dt}$	
Внутриклеточные рабочие процессы		$\frac{m(t) T_{\text{кл}}}{\bar{\rho} l(t)} \frac{dS_{\text{буонер}}(t)}{dt}$
Скорость возникновения компенсированного тепла	$T_{\text{кл}} \left(\frac{dS}{dt} \right)_{\text{обр}}$	

Изменение состояния внутриклеточной среды		Микрофазовые переходы внутриклеточной воды
Уменьшение свободной энергии	dE	кристалл \rightarrow жидкость
Увеличение содержания ком- пенсированного тепла	∂Q	жидкость \rightarrow кристалл

Активно выделяя тепло, внутриклеточная вода обеспечивает сохранение неограниченной микрогетерогенной, упорядоченной и термолабильной структуры живой материи.

Глава вторая

К ТЕРМОДИНАМИКЕ БЕЗЪЯДЕРНОГО ЭРИТРОЦИТА

(Термодинамический анализ основного обмена живой материи)

1. В предыдущей главе мы изучали наиболее общее свойство организма — свойство тепловыделения. Термодинамический анализ этого явления, зависимости удельной теплопродукции организма от времени онтогенеза, привел к раскрытию следующих свойств живой материи:

во-первых, живая материя обладает свойством термолабильности своей упорядоченной структуры,

и, во-вторых, возникновение, повышение и сохранение упорядоченности термолабильной структуры живой материи происходят на основе непрерывно идущих внутриклеточных рабочих процессов, которые связаны с микрофазовыми переходами внутриклеточной воды: кристалл \rightarrow жидкость и жидкость \rightarrow кристалл. Эти микрофазовые переходы внутриклеточной воды коррелируют с поглощением свободной (химической) энергии питательных веществ dE и с выделением из клетки эквивалентного количества компенсированного тепла ∂Q .

Интенсивность энергообмена организма (скорость поглощения энергии $\frac{dE}{dt}$ и скорость выделения тепла $\frac{\partial Q}{\partial t}$) описывается следующим уравнением:

$$\frac{dE}{dt} \rightarrow \frac{dA}{dt} \rightarrow \frac{\partial Q}{\partial t},$$

где $\frac{dA}{dt}$ внутриклеточные рабочие процессы, обеспечивающие как сохранение упорядоченности термолабильной структуры живой материи у взрослой особи, так и возникновение и повышение упорядоченной термолабильной биоструктуры в фазах эмбриогенеза и роста. Скорость выполнения внутриклеточных рабочих процессов, пропорциональна скорости возникновения упорядоченной биоструктуры, согласно уравнению:

$$\frac{1}{m(t)} \frac{dA}{dt} = \frac{T_{\text{кл}}}{\bar{\rho}l(t)} \frac{dS_{\text{бионег}}(t)}{dt}.$$

Величины $\frac{dE}{dt}$, $\frac{dA}{dt}$ и $\frac{\partial Q}{\partial t}$, в равной мере, определяют так называемый основной энергообмен организма, т. е. то минимальное количество энергии, которое необходимо для существования организма, находящегося в состоянии физиологического покоя и невыполняющего внешнюю работу.

2. Основной энергообмен, представляющий собой наименьшую затрату энергии организмом, невыполняющим каких-либо внешних работ, очевидно, совпадает с энергообменом организма в фазе эмбриогенеза. Однако, физиологическое понятие основного энергообмена не имеет точного определения, когда организм находится в фазах роста и стационарного состояния взрослой особи. В этих фазах жизнедеятельность организма всегда связана с какими-либо внешними рабочими процессами, даже тогда, когда организм находится в состоянии физиологического покоя. Это обстоятельство делает невозможным произвести четкое разделение между истинным (минимальным) основным энергообменом организма, необходимым для сохранения упорядоченной и термолабильной структуры живой материи, и более высоким энергообменом организма, связанным как с основным обменом, так и с выполнением внешней работы. Даже, если мы исследуем не энергообмен организма в целом, а только энергообмен отдельного органа, например, непрерывно работающих почек, то оказывается невозможным разделить основной обмен этого органа от энергообмена, связанного с выполнением функциональной (осмотической), внешней работы почек (Баркрофт *).

На самом деле, существование почек это, одновременно, выполнение осмотической работы. Длительное прекращение осмотической работы (анурия вследствие аноксии, отравления и пр.) это, одновременно, необратимое изменение биоструктуры почечной паренхимы или смерть органа. Относительно энергообмена почек мы приходим к заключению, что основной энергообмен почек это, одновременно, вся совокупность внутриклеточных рабочих процессов сохранения упорядоченной и термолабильной структуры по-

* Баркрофт Дж. Основные черты архитектуры физиологических функций. Биомедгиз, 1937.

чечной паренхимы и выполнение функциональной (внешней) осмотической работы. Хотя в энергетическом отношении затрата энергии для осмотической работы почек чрезвычайно мала ($\sim 1\%$ [Гилл *]) по сравнению с тотальным энергообменом почек, оба процесса — основной обмен и внешняя работа не отделимы друг от друга.

Очевидно, что организм в фазах роста и стационарного состояния взрослой особи, вообще, не содержит органа, который не выполняет какой-либо внешней (функциональной) работы и клетки которого выполняли бы только внутриклеточные работы сохранения упорядоченной, термолабильной структуры. Что касается «внешней работы» организма в фазе эмбриогенеза, то она заключается, в основном, в работах химического синтеза биологических макромолекул (белков, нуклеиновых кислот и др.). Хотя затрата энергии для химического синтеза биологических макромолекул, например, для синтеза белка из готовых аминокислот, ничтожно мала, по сравнению с количеством энергии, выделяющейся из организма в виде компенсированного тепла, эта затрата энергии неотделима от основного энергообмена организма в фазе эмбриогенеза.

Мы приходим к заключению, что вообще не существуют организмы или органы, которые расходовали бы свободную химическую энергию питательных веществ только для сохранения упорядоченной, термолабильной структуры живой материи, и не выполняли бы, одновременно, работы химических синтезов и «функциональные» внешние работы.

Однако, существует одна, и по-видимому, единственная живая клетка, которая не является ни самостоятельным одноклеточным организмом, ни частью многоклеточного органа, и обладает уникальным биологическим свойством. Это свойство заключается в расходовании свободной (химической) энергии питательного вещества только для сохранения своей упорядоченной и термолабильной структуры. Эта клетка, выполняя свои физиологические функции, не производит при этом никаких внешних работ, и не синтезирует биологические макромолекулы. Эта клетка — безъядерный эритроцит млекопитающих.

Безъядерный эритроцит млекопитающих является, как видно, идеальным объектом для термодинамического исследования упорядоченной и термолабильной структуры живой материи. Безъядерный эритроцит расходует энергию для внутриклеточных рабочих процессов, которые эквивалентны основному (минимальному) энергообмену клетки и функция которых состоит только в сохранении структуры клетки.

Переходим теперь к исследованию упорядоченной и термолабильной структуры безъядерного эритроцита.

* А. В. Гилл. Эпизоды из области биофизики. Биомедгиз. 1935.

2. Безъядерный эритроцит представляет собой чрезвычайно простую в морфологическом отношении клетку, которая лишена не только ядра, но и других характерных клеточных органелл (Гизе, 1959). В безъядерном эритроците различают поверхностный слой и окруженную им основную массу, состоящую главным образом из воды ($\sim 64\%$) и из однородных белковых молекул — гемоглобина ($\sim 34\%$). Как видно, отношение неводного к водному компоненту в основной массе эритроцита равно $\sim 1:2$. Такая максимально высокая концентрация гемоглобинов, равная $\sim 34\%$ клеточной массы, наблюдается у разных видов млекопитающих и независима от диаметра, объема и возраста эритроцита.

На основе электронно-микроскопических данных и рентгеноструктурного анализа (Поликара, Бо, 1962; Робертис и др., 1962) считается, что молекулы гемоглобина распределены в эритроците как обособленные индивидуальные единицы. К такому выводу приводят также данные о максимальной эффективности функционирования молекулы Hb, сохранившей в клетке свою молекулярную индивидуальность. (При серповидно-клеточной анемии, отличающейся резко пониженной кислородной функцией эритроцитов, молекулы гемоглобина Hb—S образуют тактоиды, поверхность которых резко уменьшена по сравнению с суммарной поверхностью отдельных молекул Hb—S. В водном растворе, где молекулы Hb—S сохраняют молекулярную индивидуальность, их сродство к O_2 приблизительно такое же как у молекул Hb—F и Hb—A нормального эритроцита).

Мы приходим, следовательно, к заключению, что молекула Hb представляет собой индивидуально функционирующую единицу и отношение между объемами всех молекул Hb и H_2O в эритроците сохраняется и для объемов одной молекулы Hb и соответствующего количества молекул H_2O .

Из отношения (вся внутриклеточная вода) : (все молекулы гемоглобина) $\cong 2:1$ следует

$$[H_2O]_n : Hb \cong 2 : 1,$$

где $[H_2O]_n$ количество молекул воды, приходящееся на одну молекулу Hb.

Исходя из этого отношения, можно вычислить размер элементарной (кубической) ячейки со стороной a , которая содержит одну молекулу Hb с объемом V_{Hb} и множество молекул воды $[H_2O]_n$ с объемом $V_{[H_2O]_n}$.

Так как

$$a^3 = V_{Hb} + V_{[H_2O]_n}$$

и

$$V_{[H_2O]_n} \cong 2V_{Hb},$$

то

$$a^3 \cong 3V_{Hb}.$$

Поскольку молекула Hb имеет приблизительно форму шара с радиусом $r_{\text{Hb}} \simeq 25 \text{ \AA}$, [Low, 1953—1954; Perutz, 1960], то

$$a \simeq \sqrt[3]{3V_{\text{Hb}}} \simeq \sqrt[3]{3 \cdot \frac{4}{3} \cdot r^3 \cdot \pi} \simeq 58 \text{ \AA}$$

Отсюда минимальное расстояние между молекулой Hb и поверхностью элементарной кубической ячейки равно

$$d_{\text{мин}} = \frac{a}{2} - r_{\text{Hb}} \simeq 4 \text{ \AA},$$

что соответствует расстоянию, в котором могут находиться в зависимости от вида упаковки одна — две молекулы воды.

Максимальное расстояние между молекулой Hb и поверхностью элементарной кубической ячейки равно

$$d_{\text{макс}} = \frac{a}{2} \sqrt{3} - r_{\text{Hb}} \simeq 25 \text{ \AA}$$

что соответствует в зависимости от вида упаковки 6—9 молекулам воды.

Из этих расчетов следует, что одна молекула Hb внутри эритроцита, при условии сохранения индивидуальности молекулы Hb, окружена слоем внутриклеточной воды, который отделяет две соседние молекулы Hb на минимальное расстояние из 2—3 молекул H_2O и на максимальное расстояние из 12—18 молекул H_2O .

Индивидуальное распределение молекул Hb в эритроците обусловлено, как видно, сложной структурой внутриклеточной воды, образующей пространственную сеть, в петлях которой находятся молекулы Hb.

Геометрический анализ распределения молекул Hb и H_2O в эритроците приводит к заключению, что внутриклеточная вода обладает упорядоченной структурой: внутриклеточная вода эритроцита образуют ажурную, квазикристаллическую, пространственную сеть, которая обеспечит индивидуальность молекул Hb, окруженных молекулами воды.

3. Полученная из геометрических соображений модель упорядоченной структуры эритроцита — обособленные молекулы гемоглобина в петлях пространственной сети из внутриклеточной воды — может быть проверена на основе экспериментальных данных, полученных для электрических параметров эритроцита. Если при сопоставлении геометрической и электрической моделей эритроцита структура клетки оказывается одинаковой, тогда мы будем в праве считать, что обе модели идентичны и правильно отражают действительную структуру эритроцита. Электрическую модель эритроцита, которая совпала бы с его геометрической модели, мы построим на основе представлений об идеальном ди-

полном диэлектрике. Идеальный дипольный диэлектрик состоит из диполей, имеющих форму шара и окруженных непроводящей средой с низкой диэлектрической постоянной.

Рассматривая электрическую модель эритроцита квазиидеальным дипольным диэлектриком, мы предполагаем, тем самым, что молекулы гемоглобина имеют форму, близкую форме шара, и несут на своих полюсах электрические заряды. Эти шаровидные дипольные молекулы гемоглобина окружены в эритроците внутриклеточной водой, которая имеет чрезвычайно низкую диэлектрическую постоянную по сравнению с диэлектрической постоянной жидкой (внеклеточной) воды (~ 80). Внутриклеточная вода с низкой диэлектрической постоянной (~ 3) может иметь только квазикристаллическую структуру аналогичную структуре льда.

Исследуем теперь на основе экспериментальных данных электрическую структуру эритроцита, предполагая, что эритроцит является квазиидеальным дипольным диэлектриком.

Мы будем считать эту модель адекватной действительной структуре эритроцита, если экспериментальные данные об электрических параметрах эритроцита подтверждают, что в эритроците существуют шаровидные диполи, которые окружены непроводящей средой. Адекватность электрической модели эритроцита будем считать полной, если выполняется условие:

$$r_{\text{дип}} = r_{\text{геом}}$$

где $r_{\text{дип}}$ радиус шаровидного диполя, определенный на основе электрических параметров, и $r_{\text{геом}}$ радиус шаровидного диполя, определенный на основе геометрических данных.

Согласно геометрическим данным имеем

$$r_{\text{геом}} = r_{\text{Hb}} + d_{\text{H}_2\text{O}} \quad (1a)$$

где r_{Hb} радиус молекулы гемоглобина, и $d_{\text{H}_2\text{O}}$ диаметр молекулы воды.

Так как

$$r_{\text{Hb}} \simeq 25 \text{ \AA}$$

и

$$d_{\text{H}_2\text{O}} \simeq 2,76 \text{ \AA} \text{ [Bernal, Fowler, 1933]},$$

получим

$$r_{\text{геом}} \simeq 25 + 2,76 \simeq 27,76 \text{ \AA}. \quad (1б)$$

Согласно ур. (1a), шаровидные диполи в эритроците состоят из молекул гемоглобина, на поверхности которых адсорбирован монослой из молекул воды. Радиус этого шаровидного диполя равен, согласно ур. (1б), $\simeq 27 \text{ \AA}$.

Пусть эритроцит подвергается мгновенному воздействию электрического поля E , которое индуцирует в эритроците, в момент

t_0 , некоторую сумму объемных электрических зарядов $\Sigma\sigma_{t_0}$. Эти заряды возникают внутри эритроцита в результате вращения шаровидных диполей. Уменьшение объемных зарядов во времени происходит, согласно представлениям классической теории Максвелла, в виде релаксационного процесса:

$$\Sigma\sigma = \Sigma\sigma_{t_0} \cdot e^{-\frac{t-t_0}{\tau}}, \quad (2)$$

где τ время релаксации.

Изменение объемных зарядов во времени вызывает электрический ток

$$I = \frac{d\Sigma\sigma}{dt} = -\frac{\Sigma\sigma_{t_0}}{\tau} e^{-\frac{t-t_0}{\tau}}. \quad (3)$$

Все объемные заряды, возникшие под мгновенным действием электрического поля E , равны

$$\Sigma\sigma_{t_0} = \frac{k\varepsilon_\infty}{4\pi} E, \quad (4)$$

где ε_∞ диэлектрическая постоянная дипольного диэлектрика, измеренная при мгновенно действующем электрическом поле; k коэффициент пропорциональности.

Из (3) и (4) получим

$$I = -\frac{k\varepsilon_\infty}{4\pi\tau} e^{-\frac{t-t_0}{\tau}} E. \quad (5)$$

Пусть электрическое поле является переменным полем $E(t)$ с круговой частотой ω :

$$E(t) = E_0 \sin \omega t$$

Запишем теперь ур. (5) для начального момента t_j при воздействии переменного электрического поля в моменте t_j :

$$I_{t_j} = -\frac{k\varepsilon_\infty}{4\pi\tau} e^{-\frac{t-t_j}{\tau}} E_0 \sin \omega t_j. \quad (6)$$

Поскольку $E(t)$ действует непрерывно во времени, то в диэлектрике возникает множество электрических токов во времени, начиная с $t_j = -\infty$ до $t_j = 0$. Суммарный электрический ток $J(t)$, складывающийся из всех возникших токов, равен

$$I(t) = \sum_{t_j=-\infty}^{t_j=0} I_{jt} = -\sum_{t_j=-\infty}^{t_j=0} \frac{k\varepsilon_\infty}{4\pi\tau} e^{-\frac{t-t_j}{\tau}} E_0 \sin \omega t_j. \quad (7)$$

При переходе от суммирования к интегрированию необходимо учесть, что t_j является переменной величиной для функции

$\sin \omega t_j$, но постоянной величиной для функции $e^{-\frac{t-t_j}{\tau}}$:

$$I(t) = -\frac{k\varepsilon_\infty}{4\pi\tau} E_0 \int_{-\infty}^0 e^{-\frac{t-t_j}{\tau}} \omega \cos \omega t_j dt_j. \quad (8)$$

Интегрирование ур. (8) приводит к следующему уравнению, записанному в символической комплексной форме:

$$I(t) = \frac{k\varepsilon_\infty}{4\pi\tau} \left[\frac{\omega^2\tau^2}{1 + \omega^2\tau^2} + i \frac{\omega\tau}{1 + \omega^2\tau^2} \right] E_0 e^{i\omega t}, \quad (9)$$

где омическая составляющая электропроводности диэлектрика равна

$$\lambda(\omega) = \frac{k\varepsilon_\infty}{4\pi} \frac{\omega^2\tau}{1 + \omega^2\tau^2}. \quad (10)$$

Зависящая от частоты электрического поля омическая составляющая электропроводности диэлектрика $\lambda(\omega)$ имеет, согласно теории [Wagner, 1914; Debye, 1929] максимальное значение абсорбции энергии электрического поля при

$$\omega_m \cdot \tau = 1. \quad (11)$$

где ω_m определяется экспериментально.

Для суспензии эритроцитов ω_m равен [Dänzer, 1934—1935; Schaeter, 1934]:

$$\omega_m \simeq 1,7 \cdot 10^7 \text{ сек}^{-1},$$

и отсюда, на основе ур. (11), время релакции эритроцита равно:

$$\tau_{\text{эр}} \simeq 6 \cdot 10^{-8} \text{ сек} \quad (12)$$

Для идеального дипольного диэлектрика, состоящего из шаровидных диполей с радиусом $r_{\text{дип}}$, время релаксации определяется уравнением Дебая:

$$\tau = \frac{4\pi\mu r_{\text{дип}}^3}{kT}, \quad (13)$$

где μ вязкость непроводящей среды, в которой находятся шаровидные диполи, k постоянная Больцмана, T абсолютная температура.

Примем теперь ур. (13) для эритроцита, представленного нами как квазиидеальный дипольный диэлектрик, и вычислим радиус шаровых диполей, находящихся в эритроците, на основе ур. (13), считая $\tau = \tau_{\text{эр}}$:

$$r_{\text{дип}} = \sqrt[3]{\frac{\tau_{\text{эр}} \cdot kT}{4\pi\mu}}. \quad (14)$$

В этом уравнении все величины известны, кроме вязкости внутриклеточной среды эритроцита. Так как шаровидные диполи в эритроците, согласно предложенной нами модели, окружены внутриклеточной водой, примем для вязкости μ значение вязкости воды $\mu_{\text{H}_2\text{O}}$:

$$\mu = \mu_{\text{H}_2\text{O}} \cong 10^{-2} \text{ г} \cdot \text{см}^{-1} \cdot \text{сек}^{-1}. \quad (15)$$

при

$$T = 293^\circ \text{ К}. \quad (16)$$

На основе численных данных из (12), (15) и (16) получим

$$r_{\text{Дип}} \cong \sqrt[3]{\frac{6 \cdot 10^{-8} \cdot 1,38 \cdot 10^{-16} \cdot 293}{12,6 \cdot 11^{-2}}} \simeq 27 \text{ \AA}. \quad (17)$$

($k = 1,38 \cdot 10^{-16} \text{ эрг} \cdot \text{град}^{-1}$)

Выше мы указали на полную адекватность электрической модели эритроцита в виде квазиидеального дипольного диэлектрика, действительной структуре эритроцита, если выполняется условие:

$$r_{\text{Дип}} = r_{\text{геом}}.$$

Сравнивая численное значение $r_{\text{геом}}$ из ур. (16)

$$r_{\text{геом}} \simeq 27 \text{ \AA}$$

с численным значением $r_{\text{Дип}}$ из ур. (17), мы видим, что

$$r_{\text{геом}} = r_{\text{Дип}} \simeq 27 \text{ \AA} \quad (18)$$

Мы приходим к заключению, что геометрическая и дипольная модели эритроцита являются идентичными, и что обе модели правильно отражают структуру эритроцита.

Подытожим полученный результат. Внутриклеточная вода эритроцита образует пространственную квазикристаллическую сеть, в петлях которой находятся молекулы гемоглобина, образующие, таким образом, индивидуально функционирующие единицы. Физическая особенность внутриклеточной воды эритроцита заключается в упорядоченности и квазикристаллическости ее структуры, на что указывает геометрическая модель эритроцита и низкая диэлектрическая постоянная внутриклеточной воды, согласно электрической модели эритроцита.

Внутриклеточная вода эритроцита, обладающая упорядоченной, квазикристаллической структурой, сохраняет, одновременно, свойство жидкой воды — низкое значение вязкости. Внутриклеточная вода эритроцита отличается, следовательно, двойственностью своей структуры: она обладает свойством структурно-кристаллической воды, обеспечивающей обособленность, и тем самым, максимальную функциональную эффективность молекул гемоглобина, и внутриклеточная вода обладает также свойством жидкой воды, обес-

печивающей податливость формы эритроцита, диффузионные процессы клеточного обмена веществ, и функциональные изменения эритроцита в течение его жизни.

4. Отличительным структурным свойством живой материи является термолабильность ее структуры при температуре существования метаболизирующей клетки. Свойство термолабильности живой материи связано с особым состоянием внутриклеточной воды, входящей в структуру живой материи как главной ее части. Особое состояние внутриклеточной воды, двойственность ее структуры, обладающей свойствами как кристалла так и жидкости, мы показали на примере наиболее простой живой системы — безъядерного эритроцита.

Безъядерный эритроцит не выполняет внешних работ и расходует энергию только для сохранения своей структуры. Энергообмен безъядерного эритроцита является, таким образом, основным энергообменом, в строгом смысле этого понятия.

В функциональном отношении эритроцит выполняет в основном функции связывания и передачи кислорода и углекислого газа. Функция связывания и передачи кислорода полностью выполняется молекулами гемоглобина, независимо от того, включены ли они в пространственную квазикристаллическую сеть из внутриклеточной воды или находятся в виде растворенного вещества в воде — растворителе. Процессы связывания и передачи кислорода гемоглобином, как в эритроците, так и в водном растворе, являются равновесными процессами и не требуют энергетических затрат. Однако, эритроцит, выполняющий в основном функцию, связанную с наличием в нем молекул гемоглобина, непрерывно расходует энергию. Отсюда следует, что энергия метаболизма эритроцита не расходуется для процессов, связанных с функцией гемоглобина, которая не требует энергии. Необходимо поэтому заключить, что энергия метаболизма безъядерного эритроцита расходуется полностью для поддержания структуры внутриклеточной воды эритроцита в упорядоченном, квазикристаллическом состоянии. Для этой цели безъядерному эритроциту требуется только поставщик свободной химической энергии — глюкоза и не требуется никаких пищевых веществ, содержащих азотистые соединения. Действительно, безъядерный эритроцит не расходует азотистые вещества, поскольку в нем не происходят процессы синтеза белков.

Так как в эритроците протекает процесс расходования свободной энергии глюкозы и из него выделяется эквивалентное, в энергетическом отношении, количество тепла, то следует, что свободная энергия глюкозы расходуется эритроцитом только для сохранения термолабильного состояния его структуры. Внутриклеточным веществом, которое находится в состоянии термолабильной структуры, может быть только внутриклеточная вода, а не гемоглобин, являющийся термостабильным при температуре жизнедеятельности эритроцита.

Мы приходим к следующему выводу: основная динамическая функция простейшей живой системы — эритроцита млекопитающих — состоит в непрерывном создании структурированной фазы воды, которая при температуре жизнедеятельности клетки является термолабильной. Для эритроцита цель этой функции состоит, очевидно, в создании компактной высококонцентрированной системы из молекул гемоглобинов. Для остальных более сложных клеток, чем эритроцит, которые выполняют разнообразные функции, фазовые переходы внутриклеточной воды: кристалл → жидкость, жидкость → кристалл, создают ту внутреннюю мобильность живой материи, которая лежит в основе всех функций живой материи.

Это положение может быть сформулировано как термодинамический принцип существования живой материи: живая материя существует в виде динамической системы, выполняющей разнообразные функциональные рабочие процессы. В основе этих рабочих процессов лежит работа по созданию структуры живой материи, являющейся термолабильной при температуре существования метаболизирющей клетки.

Термодинамический принцип существования живой материи, являющийся обобщением данных теоретической и экспериментальной биологии, имеет самостоятельное и универсальное значение для понимания физической сущности и специфики движения живой материи.

Глава третья

ТЕПЛООБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ ФУНКЦИЯ ЛЕГКИХ

1. Температура — мера интенсивности теплового движения частиц, составляющих материальную макросистему, является, пожалуй, наиболее существенным физическим параметром состояния живой материи. В уравнение, выражающее основной обмен клетки, т. е. интенсивность внутриклеточных рабочих процессов, которые обеспечивают упорядоченность термолабильной структуры живой материи, входит температура метаболизирющей клетки:

$$\frac{dA}{dt} = \frac{T_{\text{кл}}}{\bar{\rho}l(t)} \frac{dS_{\text{бионег}}(t)}{dt} \quad (1)$$

В ходе прогрессивной биологической эволюции многоклеточные животные организмы приобрели способность усиливать интенсивность внутриклеточных рабочих процессов в связи с выполнением различных функциональных работ помимо основного обмена.

Усиление интенсивности энергообмена клетки в широких пределах в связи с выполнением функциональных работ приводит у холоднокровных животных к повышению температуры клетки. Повышение температуры будет тем больше, чем больше интенсивность функциональных работ. У теплокровных животных, однако, наблюдается сохранение или, точнее, незначительное повышение температуры клетки, несмотря на то, что интенсивность энергообмена клетки может быть резко повышена в связи с функциональными работами организма. Гомойотермия — постоянство температуры внутренней среды у теплокровных животных — является наиболее значительным достижением в развитии животного мира. Постоянство температуры это основное условие, обеспечивающее постоянство и по всем остальным параметрам внутренней среды. Сохраняя постоянство температуры и всех остальных параметров внутренней среды, теплокровный организм реагирует на их колебания, которые вызваны воздействием окружающей среды.

Способность теплокровных организмов реагировать на все меньшие колебания параметров внутренней среды является наиболее высоким достижением в ходе биологической эволюции. Именно это достижение — сохранение постоянства параметров внутренней среды благодаря реакции организма на их колебания — как мы полагаем, имел в виду Клод Бернар в своем известном изречении: «Постоянство внутренней среды — это условие свободной жизни».

2. Возникает вопрос: каким образом обеспечивает теплокровный организм постоянство температуры внутренней среды при холоде?

Поскольку свободная энергия питательных веществ переходит в тепло, согласно уравнению:

$$\frac{dE}{dt} \rightarrow \frac{dA}{dt} \rightarrow \frac{\partial Q}{\partial t}, \quad (2)$$

то сохранение постоянства температуры клетки, т. е.:

$$T_{\text{кл}} \simeq \text{const.} \quad (3)$$

может быть достигнуто регуляцией скорости теплоотдачи из организма. Так как тепло, продуцируемое клетками, выделяется прежде всего во внутреннюю среду организма, окружающую метаболизирующие клетки, и отсюда во внешнюю среду, окружающую теплокровный организм, то постоянство температуры организма достигается термостатированием его внутренней среды.

Однако, терморегуляторные механизмы теплокровного организма имеют три, причем жестких, физиологических предела:

Во-первых, метаболизирующая клетка выделяет тепло в определенных границах от минимального количества, соответствующего основному обмену, до максимального количества, соответствующего максимальной интенсивности энергообмена при выполнении функциональных работ помимо основного обмена;

во-вторых, при низкой температуре внешней среды тепловыделение из организма должно продолжаться для обеспечения энергообмена клетки и, одновременно, тепловыделение должно быть сведено до минимума для сохранения постоянства температуры внутренней среды организма;

в-третьих, при низкой температуре внешней среды количество тепла, выделяющееся из метаболизирующих клеток при выполнении функциональных работ может быть недостаточным для сохранения постоянства температуры внутренней среды, несмотря на то, что скорость тепловыделения из организма достигла минимального значения.

В силу этих жестких физиологических ограничений сохранение гомойотермного состояния организма при холоде может быть обеспечено, принципиально, двумя терморегуляторными способами:

во-первых, теплокровный организм усиливает тепловыделение из клеток за счет усиления функциональных работ специализированных органов;

и во-вторых, теплокровный организм производит тепло в специальном органе, причем производство этого тепла не связано, ни с основным обменом, ни с усилением функциональных работ этого органа при холоде.

Оба способа реализованы в теплокровном организме. Первый способ состоит в усилении функциональных работ мышечной системы при холоде (от дрожания до бега).

Второй способ заключается в открытой нами теплообразовательной функции легких.

3. На основе анализа большого количества экспериментальных данных, опубликованных с 1915 по 1960 г. доказывається, что легкие теплокровного животного выполняют кроме своей основной функции органа газообмена, дополнительную функцию органа химической теплопродукции. При определенных условиях внутренней и внешней среды в легких происходят процессы теплообразования. Физиологическая сущность этих теплообразовательных процессов в легких состоит в поддержании постоянства температуры теплокровного организма.

Животное, находясь в состоянии покоя и голодания, выделяет определенное количество тепла. Величина теплового потока и из организма животного в окружающую среду определяется при так называемой температуре комфорта окружающей среды $16-18^{\circ}$. Если температура внешней среды значительно ниже, чем $16-18^{\circ}$, например $1-2^{\circ}$, тогда обнаруживается резкое повышение тепловыделения на $40-50\%$. Это дополнительное теплообразование в животном организме мы называем химической теплопродукцией, подчеркивая этим названием, что это теплообразование не связано с функциональными рабочими процессами организма.

Доказательство наличия химической теплопродукции в животном организме при холоде, мы находим уже в работах Рубнера.

Рубнер установил явление специфически-динамического действия пищи (СДД). Если животное в состоянии основного обмена при температуре комфорта получает пищу, то основной обмен увеличивается. Это и есть СДД пищи. Но если животное в состоянии покоя и голодания получает пищу при низкой температуре внешней среды, то основной обмен не изменяется. При низкой температуре не существует СДД пищи. Сопоставление этих явлений: 1) повышения основного обмена при низкой температуре внешней среды, 2) СДД пищи при температуре комфорта, и 3) отсутствия СДД пищи при низкой температуре указывает на следующее: при низкой температуре внешней среды в организме происходят теплообразовательные процессы, которые не могут быть связаны с функциональными рабочими процессами организма. Другими словами, некоторая часть химической энергии пищи потребляется организмом при низкой температуре внешней среды не для рабочих процессов, а непосредственно для превращения в тепло.

Животное, находясь в состоянии покоя и голодания при температуре комфорта, выделяет тепло, соответствующее основному обмену или потреблению наименьшего количества кислорода. Если, однако, животное находится в состоянии основного обмена и содержание кислорода во вдыхаемом воздухе уменьшено, например, с 20% до 14%, то потребление O_2 животным сразу же резко возрастает.

Это явление парадоксально, т. к. органы, получившие меньше кислорода, не могут повысить тепловыделения. Необходимо поэтому допустить, что имеется еще какой-то орган, снабжение которого кислородом не зависит от содержания кислорода в крови. Этим органом, который обладает способностью извлечь O_2 не из крови, а непосредственно из вдыхаемого воздуха, являются легкие.

4. Еще в конце прошлого столетия Бор и Генрик высказали предположение, что некоторая часть атмосферного O_2 вдыхаемого воздуха, не переходит в кровь, а употребляется непосредственно респираторной легочной тканью для внутрилегочных окислительных процессов. Приблизительно на 20 лет позже в 1913 г. Эванс и Старлинг высказали сомнения в наличии процессов внутрилегочных окислений с непосредственным потреблением O_2 из вдыхаемого воздуха. Еще на 20 лет позже в 1932 г. были произведены опыты на изолированных легких теплокровных животных и было установлено, что легочная ткань, по сравнению, с другими тканями, потребляет чрезвычайно малое количество O_2 . С тех пор укрепилось мнение, что легочная ткань обладает очень низкой интенсивностью обмена веществ и что этот низкий энергетический уровень является весьма стабильным и не повышается, какие бы ни были различные физиологические состояния теплокровного организма.

Впервые в 1945 г. появились опыты, доказывающие, что это положение неверно. При каком-то особом состоянии теплокровного организма, когда в эксперименте была выключена печень и живот-

ному внутривенно вливали адреналин, легочная ткань потребляла непосредственно из вдыхаемого воздуха около 20% всего O_2 , потребляемого организмом. 10 лет спустя в 1955 г. были произведены опыты на изолированной доле легкого собаки. Через изолированную долю легкого, которая снабжалась кислородом, пропускалась кровь от собаки донора. Опыты были поставлены таким образом, что через изолированную долю легкого можно было пропускать артериальную или венозную кровь от собаки-донора. Можно было измерить артерио-венозную разницу этой крови, прошедшей через капиллярную сеть изолированной доли легких, скорость кровотока, и количество O_2 , которое потреблялось долей легких. Из этих данных можно было установить, какое количество кислорода потребляется изолированной долей легких непосредственно из воздуха. Оказалось, что при пропускании артериальной крови, респираторная легочная ткань практически не потребляет O_2 ; при пропускании венозной крови — респираторная легочная ткань потребляет небольшое количество O_2 , что и соответствует данным о низком энергетическом уровне обмена веществ легких. Если, однако, через изолированную долю легкого собаки пропускалась кровь от собаки донора после кровопотери, т. е. если пропускалась гипоксическая кровь, тогда респираторная легочная ткань резко повышала потребление O_2 из воздуха. Потребление O_2 респираторной легочной тканью возрастало в 7—8 раз, т. е. до 20% общего потребления кислорода организмом. В состоянии гипоксии легкие оказались органом с интенсивностью обмена веществ, которая превышает интенсивность обмена веществ сердца и почек.

Биохимические исследования гипоксической крови в этих опытах обнаружили еще два важных показателя: во-первых, гипоксическая кровь была одновременно гиперацидной из-за повышенного содержания молочной кислоты, и, во-вторых, гипоксическая кровь содержала адреналин в повышенной концентрации.

5. Переходим теперь к вопросу, какие пищевые продукты окисляются в респираторной легочной ткани? Резкое повышение интенсивности энергообмена в легких имеет место только тогда, когда теплокровный организм находится в состоянии гипоксии. Как только наступает такое состояние, то сразу же повышается интенсивность энергообмена в легких и усиливаются процессы внутрилегочных окислений. Отсюда следует, что в состоянии гипоксии теплокровный организм тут же мобилизует пищевые вещества, которые были депонированы. Такими веществами являются жиры, вещества, не обладающие или почти не обладающие СДД.

В состоянии гипоксии жиры мобилизуются из депонированного состояния и подвергаются окислению в респираторной легочной ткани; их энергия переходит в легочной ткани в тепло, без выполнения каких-либо функциональных рабочих процессов. Интенсивное участие легких в внутриорганном жировом обмене было обнаружено еще в тридцатые годы в работах Бине и Роше. С этого

времени накопилось громадное количество исследований, доказывающих участие легких в жировом обмене. Интенсивные процессы энергообмена в легких, когда теплокровный организм находится в состоянии гипоксии под воздействием холода, представляют собой процессы химической теплопродукции.

При холоде мы наблюдаем повышенную гипоксию венозной крови, повышенную концентрацию молочной кислоты в венозной крови и повышенное содержание адреналина в венозной крови. Венозная кровь, притекающая к легким, содержит меньше кислорода при холоде, чем при тепле. Одновременно, из-за повышенного обмена веществ в периферических частях тела происходит повышенное образование молочной кислоты и венозная кровь обнаруживает при холоде более высокий сдвиг в кислую сторону, чем это имеет место при тепле. Наконец, в связи с нейро-гуморальной реакцией организма на воздействие холода наблюдается повышенная функция супраренальной системы. Концентрация адреналина в крови при холоде повышена. Адреналин является тем гуморальным фактором, под действием которого происходит мобилизация жиров из депо. Имеются также наблюдения о несколько повышенном содержании липидов в крови при холоде. Нами было показано, что при холоде содержание жиров в легких несколько повышено. Мы приходим к следующему заключению: при воздействии холода на теплокровный организм резко повышаются окислительные процессы в респираторной легочной ткани. В легких происходят экзотермические процессы окисления жиров и жирных кислот с непосредственным потреблением кислорода из вдыхаемого воздуха, минуя оксигемоглобин крови. Потребление кислорода легкими достигает 20% общего потребления O_2 организма при холоде.

Соприкасаясь с кровью, измененной при холоде по температуре, рН, содержанию O_2 , адреналина и липидов, респираторная легочная ткань тут же реагирует на эти изменения повышением теплообразования. Экзотермические процессы внутрилегочных окислений липидов с непосредственным потреблением кислорода из альвеолярного воздуха являются, таким образом, важнейшим звеном терморегуляторных механизмов теплокровного организма.

ВЫВОДЫ

1. Выдвигается идея, что живая материя представляет собой термодинамическую фазу, как объект, который существует только в виде макроскопической системы (клетки или многоклеточные организмы), обладающей поверхностью раздела.

Следствием такого представления является вывод о том, что проблема возникновения и искусственного создания жизни есть проблема фазового превращения.

2. Состояние живой материи характеризуется

а) неограниченной микрогетерогенностью структуры,

б) отсутствием нарушения упорядоченности структуры при протекании внутриклеточных рабочих процессов, сопровождающихся выделением тепла.

На основе этих свойств утверждается неприменимость понятия энтропии к живой материи.

3. Состояние живой материи характеризуется функцией биологической негэнтропии или функцией упорядочения $S_{\text{бионег}}$, которая имеет размерность: $\text{кал} \cdot \text{град}^{-1}, \text{см}^{-2}$; и определяется уравнением

$$dS_{\text{бионег}} = \frac{\partial(-q_F)}{T_{\text{кл}}}$$

где $-q_F$ тепло, отнесенное к единице поверхности, из которой оно выделяется; $T_{\text{кл}}$ температура метаболизирующей клетки.

Эта функция для многоклеточного организма имеет характер возрастающей функции до некоторого постоянного значения функции у взрослого организма и отражает рост массы упорядоченной живой материи.

4. Структура живой материи является термолабильной при температуре существования метаболизирующей клетки. Основная функция метаболизма, т. е. функция внутриклеточных рабочих процессов, заключается в поддержании термолабильного состояния упорядоченной структуры живой материи.

Главным по массе термолабильным компонентом живой материи является внутриклеточная вода.

5. Внутриклеточная вода находится в состоянии микрофазовых превращений: кристалл \rightarrow жидкость \rightarrow кристалл \rightarrow . Через такие микрофазовые превращения совершаются внутриклеточные рабочие процессы и активное выделение тепла. Таким образом, внутриклеточная вода есть своеобразное «рабочее тепло» живой материи, которое расходует свободную химическую энергию питательных веществ при фазовом переходе: кристалл \rightarrow жидкость, и выделяет тепло при фазовом переходе: жидкость \rightarrow кристалл.

6. Энергообмен организма определяется, главным образом, потреблением свободной энергии для поддержания и построения новой массы (в процессе роста) термолабильной живой материи. Этот энергообмен, который служит поддержанию термолабильной структуры живой материи, есть истинный основной обмен.

7. Безъядерный эритроцит млекопитающих является уникальным представителем живой материи, расходующим свободную энергию только для поддержания своей термолабильной и упорядоченной структуры, т. е. энергообмен безъядерного эритроцита есть истинный основной обмен.

8. Анализ электропроводности эритроцитов по нашей дипольной теории приводит к значению диэлектрической постоянной внутриклеточной воды, которое резко отличается от диэлектрической постоянной жидкой воды (~ 80). Диэлектрическая постоян-

ная внутриклеточной воды имеет численное значение, соответствующее диэлектрической постоянной льда (~ 3). Таким образом мы имеем прямое доказательство квазикристаллического состояния внутриклеточной воды эритроцита.

9. В организме теплокровного животного существует специальный орган химической теплопродукции — легкие. Легкие, кроме своей основной функции органа дыхания, выполняют, при определенных условиях внутренней и внешней среды, функцию химической теплопродукции: расходование химической энергии липидов непосредственно для производства тепла. Окисление липидов происходит на поверхности респираторной легочной ткани при непосредственном использовании кислорода из вдыхаемого воздуха. Выделившееся в ходе этого процесса тепло служит нагреванию как вдыхаемого воздуха, так и капиллярной легочной крови, когда теплокровный организм подвергается действию холода.

РАБОТЫ К. С. ТРИЧЕРА ПО БИОЛОГИЧЕСКОЙ ТЕРМОДИНАМИКЕ

1. Монографии

- I. ТЕПЛООБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ ФУНКЦИЯ И ЩЕЛОЧНОСТЬ РЕАКЦИИ ЛЕГОЧНОЙ ТКАНИ
Предисловие профессора, доктора биологических наук П. А. Коржуева
Издательство Академии наук СССР
Москва 1960
- II. БИОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИЯ — ЭЛЕМЕНТЫ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ТЕРМОДИНАМИКИ
Предисловие профессора, доктора медицинских наук, член-корреспондента АМН СССР Н. А. Бернштейна
Издательство «Наука»
Москва 1964
- III. БИОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИЯ — ЭЛЕМЕНТЫ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ТЕРМОДИНАМИКИ
Предисловие профессора, доктора медицинских наук член-корреспондента АМН СССР Н. А. Бернштейна. Издание второе, переработанное и дополненное
Издательство «Наука»
Москва 1965

2. Статьи

1. Температурная зависимость низко- и высокочастотной электропроводности крови и ее связь со структурой эритроцита. Физиологический журнал СССР имени И. М. Сеченова, т. 42, вып. 3, 293, (1956).
2. Значение легких как органа теплопродукции. Биофизика, 2, 6, 675, (1957).
3. Зависимость липопексической функции легких от температуры внешней среды. Бюлл. эксп. биол. и мед., вып. 10, 65, (1958).
4. Дипольная теория диэлектрической структуры клетки. Успехи современной биологии, т. 45, 3, 261, (1958).

5. Возникновение структуры и обмена веществ. Дискуссия в кн. «Возникновение жизни на Земле. Труды международного симпозиума». Издательство АН СССР, 486—490, (1959).
6. Теплообразовательная функция легких. Успехи современной биологии, т. 49, 2, 200, (1960).
7. О физическом смысле дозового коэффициента при термическом воздействии на кровь. Биофизика, 5, 4, 502, (1960).
8. К вопросу о применимости теоремы Пригожина в биологии. Биофизика, 6, 750, (1961).
9. Существование и эволюция живых систем и второй закон термодинамики. Вопросы философии, 6, 154, (1962).
10. Термодинамическая теорема биологической эволюции. Биофизика, 6, 740, (1962).
11. К термодинамике биологических процессов. Журнал физической химии, 37, 5, 1043, (1963).
12. Закон биологической адаптации. Доклады Академии наук СССР, 149, 3, 717, (1963).
13. Адаптационное изменение гемоглобина в онтогенезе. Физиологический журнал СССР имени И. М. Сеченова, 49, 5, 621, (1963). Соавтор: Е. И. Гинцбург.
14. Корреляция между интенсивностью обмена веществ радиочувствительного органа и эффективной дозой радиопротектора. Радиобиология, 3, 4, 626, (1963), Соавтор: А. С. Мозжухин.
15. Об отрицательной энтропии внутриклеточной воды в эритроците. Биофизика, 9, 5, 633, (1964).
16. О границе применимости физики неживого в биологии. В кн. «О сущности жизни». Издательство «Наука», 156, (1964).
17. О моделировании функций живой материи. В кн. «Кибернетика мышление жизнь», издательство «Мысль», 206, (1964).
18. Можно ли искусственно создать живое? Вопросы философии, 9, 124, (1965).
19. По поводу статьи Ю. П. Сырникова «О применимости второго начала термодинамики к живой материи». Биофизика, 6, 1109, (1965).
20. Структурно-связанная вода и биологические макромолекулы. Успехи современной биологии, 61, 3, 338, (1966).
21. По поводу рецензии и дискуссионных статей, касающихся «Элементов биологической термодинамики». Биофизика, 2, 6, 1098, (1966).
22. О колебательном характере поражающего действия воды, подвергавшейся намагничиванию, на эритроциты. В кн. «Колебательные процессы в биологических и химических системах», издательство «Наука», 346, (1967). Соавторы: И. И. Брехман, Ю. С. Малинин.
23. О структурированной воде, прилегающей к поверхностному слою эритроцитов. В кн. «Состояние и роль воды в биосистемах», издательство «Наука», 143, (1967).
24. По поводу статьи М. В. Волькенштейна «Четвертое начало термодинамики и биология». О книге К. С. Тринчера «Биология и информация». Цитология, 9, 4, 470, (1967).
25. По поводу обзора «Математическое моделирование жизненных процессов». Вопросы философии, 1, 174, (1968).

IV. ПЕРЕВОДЫ НА ИНОСТРАННЫЕ ЯЗЫКИ

а) Монографии

1. BIOLOGY and INFORMATION
Elements of Biological Thermodynamics Karl Sigmundovich Trincher Authorised translation from the Russian Consultants Bureau, New York 1965
2. BIOLOGIE und INFORMATION
Eine Diskussion über Probleme der biologischen Thermodynamik von K. S. Trintscher B. G. Teubner Verlagsgesellschaft, Leipzig 1967

б) Статьи

1. Die Dipoltheorie der dielektrischen Struktur der Zelle. Naturwissenschaftliche Beiträge (UdSSR), 4, 429, (1959).
2. Die wärmebildende Funktion der Lunge. Physikalische Grundlagen der Medizin. Abhandlungen aus der Biophysik. VEB Georg Thieme. H 2, 7. Leipzig. (1962).
3. Über die negative Entropie des intracellulären Wassers im Erythrocyten. Biochimica et Biophysica Acta, 88, 438, (1964).
4. Negative Entropy of intracellular water in the erythrocyte. Translated by the Translating Unit Library Branch Division of Research Services National Institutes of Health. Bethesda Maryland, N 1, 12, (1964).
5. Adaptive changes in hemoglobin during ontogenesis. Federation Proceedings. Vol. 23, N 4, Part II, t 661, (1964).
6. Peut-on créer artificiellement du vivant? Sciences et matérialisme dialectique. Recherches internationales à la lumière du marxisme. N 54, p. 186. Editions de la Nouvelle Critique, Paris, (1966).

Электронный фонд

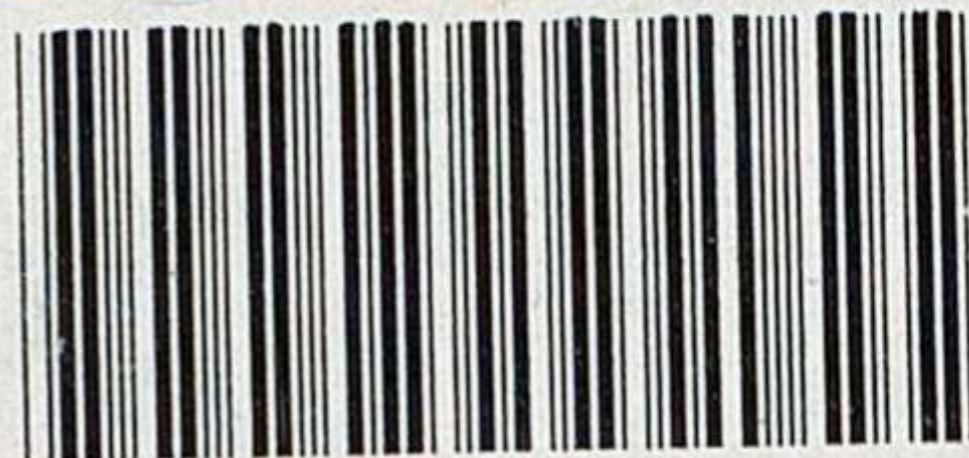
Заказ 151

Т-04234

Тираж 370

Издательство «Наука». Москва, К-62, Подсосенский пер., 10
2-я типография изд-ва «Наука». Москва, Г-99, Шубинский пер., 10

Бесплатно



00412160

Электронный фонд документов