Казанский университет

Владимир Александрович
Энгельгардт

Евгений Константинович
Завойский

1931

Окислительное фосфорилирование (синтез АТФ)

Биоэнергетика клетки

1939

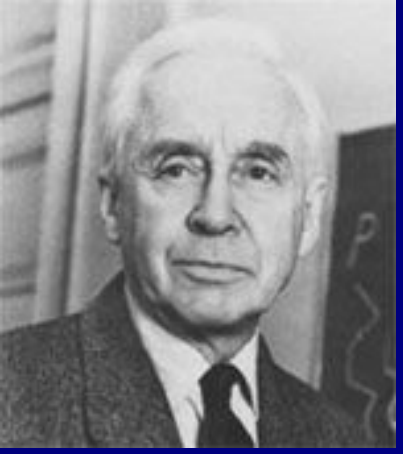
Миозин – это механофермент (гидролиз АТФ)

Энзимология

1944

Электронный парамагнитный резонанс (ЭПР)

Непарные электроны



Биоэнергетика – наука о преобразовании энергии

Владимир Александрович Энгельгардт

1931

Окислительное фосфорилирование
(синтез АТФ)

Энергия окисления → Энергия гидролиза АТФ

Митохондрии

Дыхательная цепь

Теория Митчела

1939

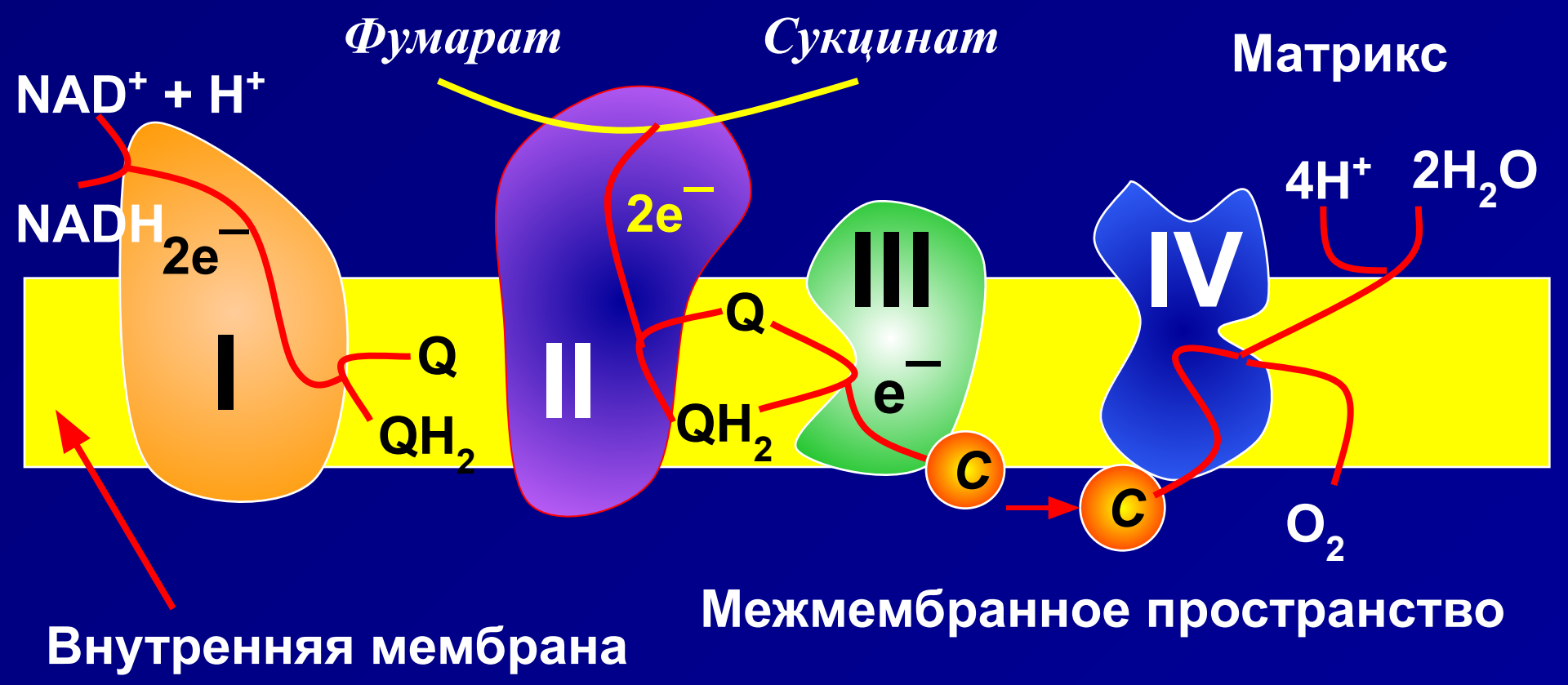
Миозин – это механофермент
(гидролиз АТФ)

Энергия АТФ → Механическая работа

Работа мышцы

Ферменты как механо-химическая машина

Перенос электронов в дыхательной цепи митохондрий



Зоны электронной проводимости в белках?

В начале сороковых годов Николай Риль и Альберт Сцент-Дьердьи предположили, что белки обладают полупроводниковыми зонами проводимости

О ВОЗМОЖНОСТИ МИГРАЦИИ ЭНЕРГИИ В МОЛЕКУЛЕ БЕЛКА

Ю. А. ВЛАДИМИРОВ, С. В. КОНЕВ

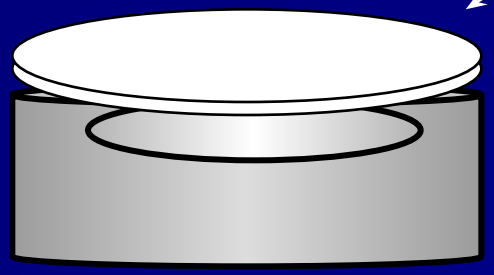
В существующей литературе довольно часто в один и тот же термин — «миграция энергии» — вкладывается разными авторами неоднозначный смысл. Поэтому мы считаем не лишним дать в начале статьи то определение понятия «миграция энергии», которого мы в дальнейшем будем придерживаться. Миграция энергии — это безизлучательная передача энергии кванта от места его поглощения к месту использования в молекуле или системе молекул на расстояния, значительно превышающие межатомные, без растраты на тепловые колебания и без кинетического соударения донатора и акцептора мигрирующей энергии.

Вопрос о миграции энергии в живых системах имеет несколько необычную историю. В то время как обычно теории рождаются из фактов, накопленных наукой, представление о миграции было перенесено в биологию чуть ли не сразу после открытия этого явления физиками. В 1941 г. Сент-Дьердьи [1] перечислил ряд биологических проблем, для решения которых следовало, по его мнению, прибегнуть к понятию миграции энергии. Это были: теория фотосинтетической единицы Эмерсона и Арнольда, данные Кубовитца и Хааса по инактивации уреазы и Лаки — по инактивации фумаразы, опыты с действием кроцина на водоросли, данные опытов с
о молекул, могущих прореагиро-
щающихся молекул миозина, и,
кции окислительных ферментов.
рдьи были приведены некоторые
в белковых системах, в 1946—
перса [4, 5] по фотодиссоциации
Баннистера по флуоресценции

Владимиров, Ю.А. и Конев, С.В.
О возможности миграции энергии в молекуле белка. Биофизика, 1957. **2(1)**: p. 3-19.

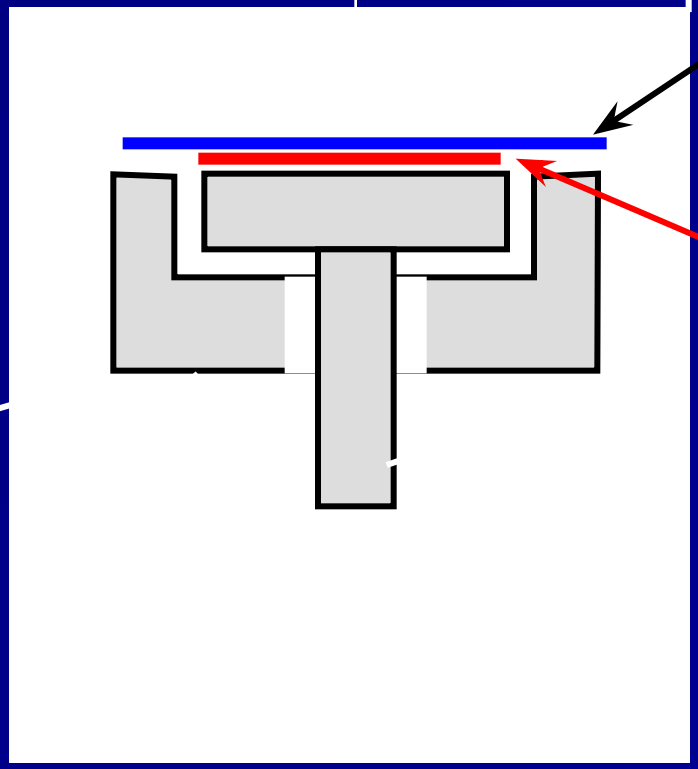
Измерение фотопроводимости белковой пленки

1966



Кварцевая пластинка

Полупрозрачная пленка Al



Пленка белка

Металлическая кювета

Владимиров, Ю. А. и Тимофеев, К. Н. *Исследование фотопроводимости растворов ароматических аминокислот и белковых плёнок.* Биофизика, 1966.

Диффузионный механизм фотопроводимости белков

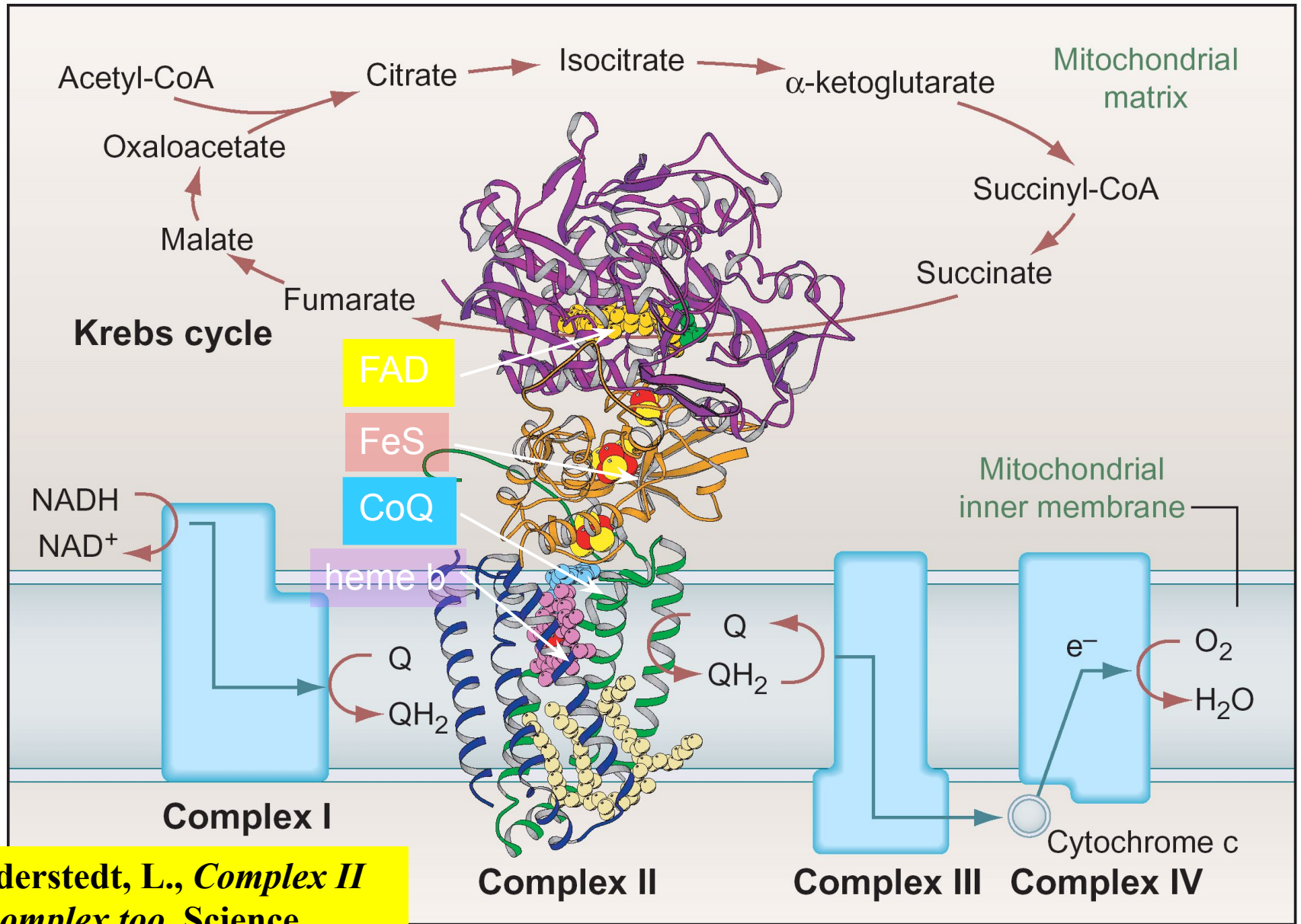
1966

Фотопроводимость наблюдалась в пленках при облучении длинами волн короче 300 нм (более 4 эВ). «Квант энергии» в клетке = 0,2 эВ.

Вероятный механизм — фотоионизация хромофоров и диффузия ионов в водной фазе.

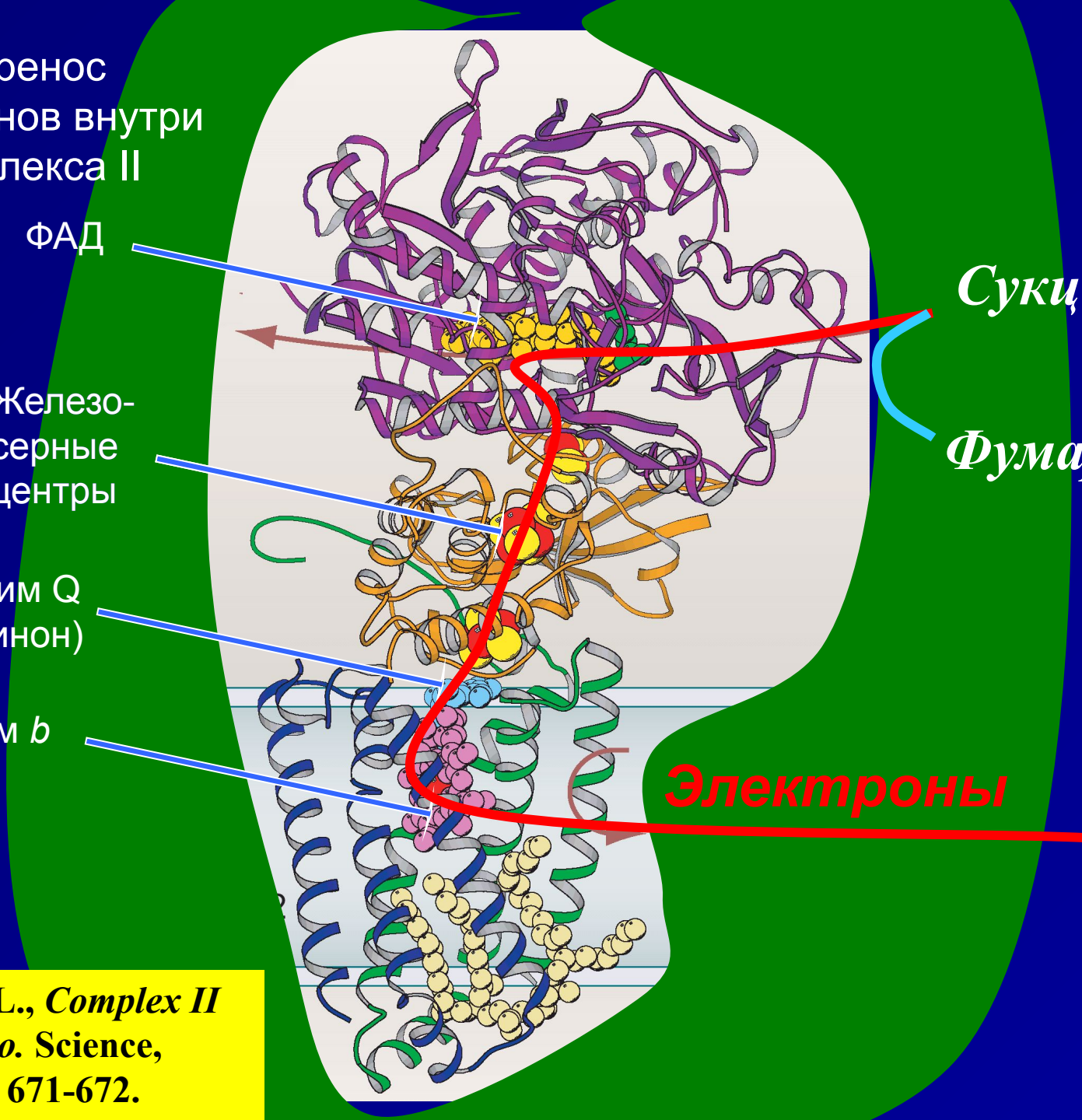
Владимиров, Ю. А. и Тимофеев, К. Н. Биофизика, 1966, **11** (1): 33 — 41

Комплекс II дыхательной цепи митохондрий



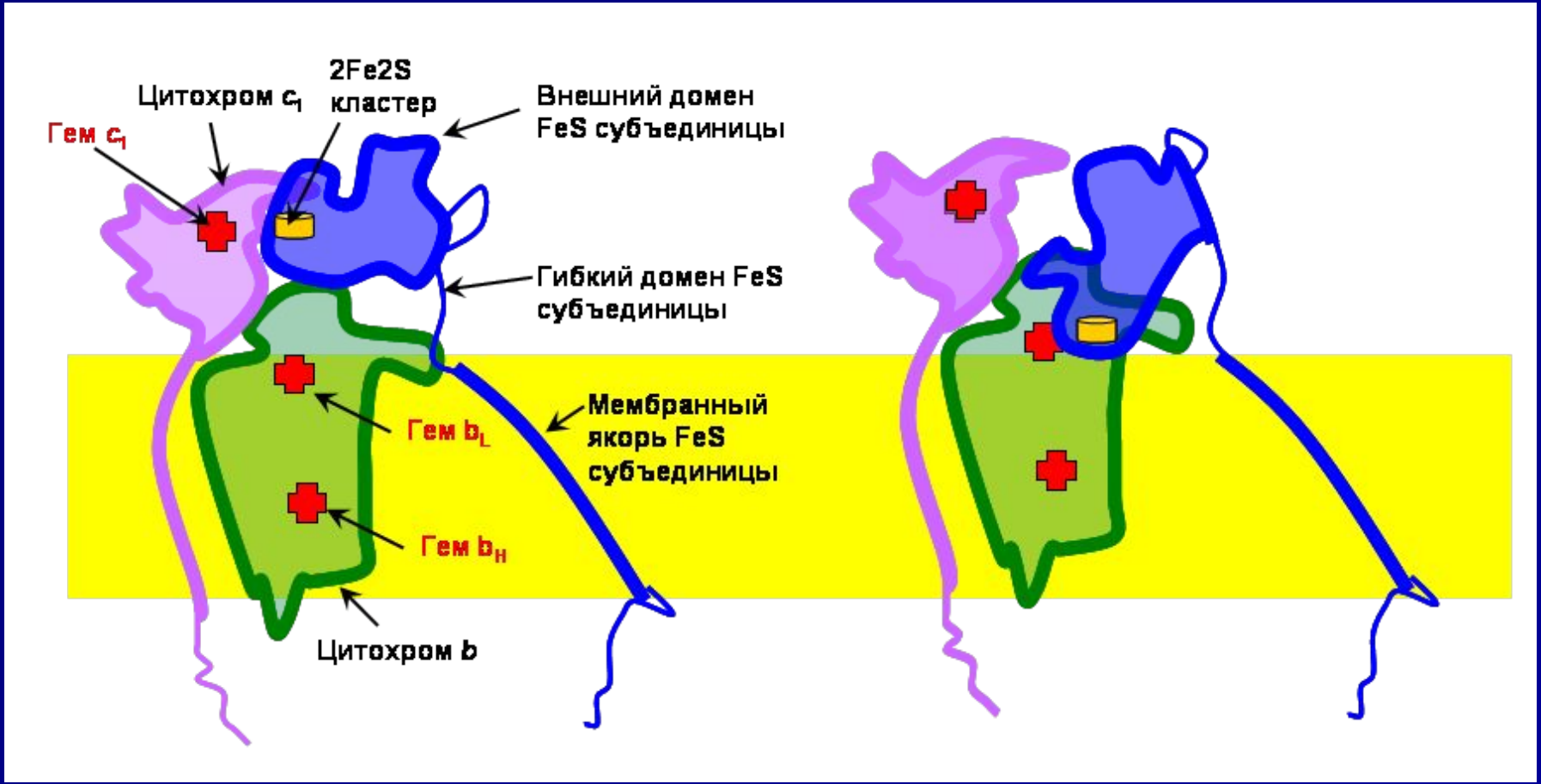
Hederstedt, L., *Complex II is complex too.* Science, 2003. 299: p. 671-672.

Перенос электронов внутри комплекса II



Hederstedt, L., *Complex II is complex too.* Science, 2003. 299: p. 671-672.

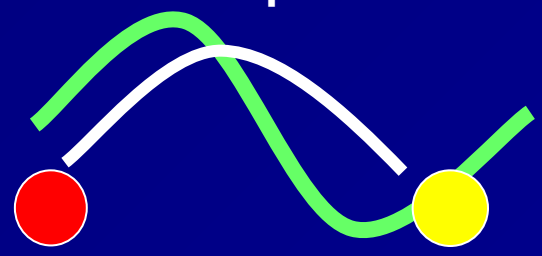
Эстафетный перенос электронов в bc_1 комплексе



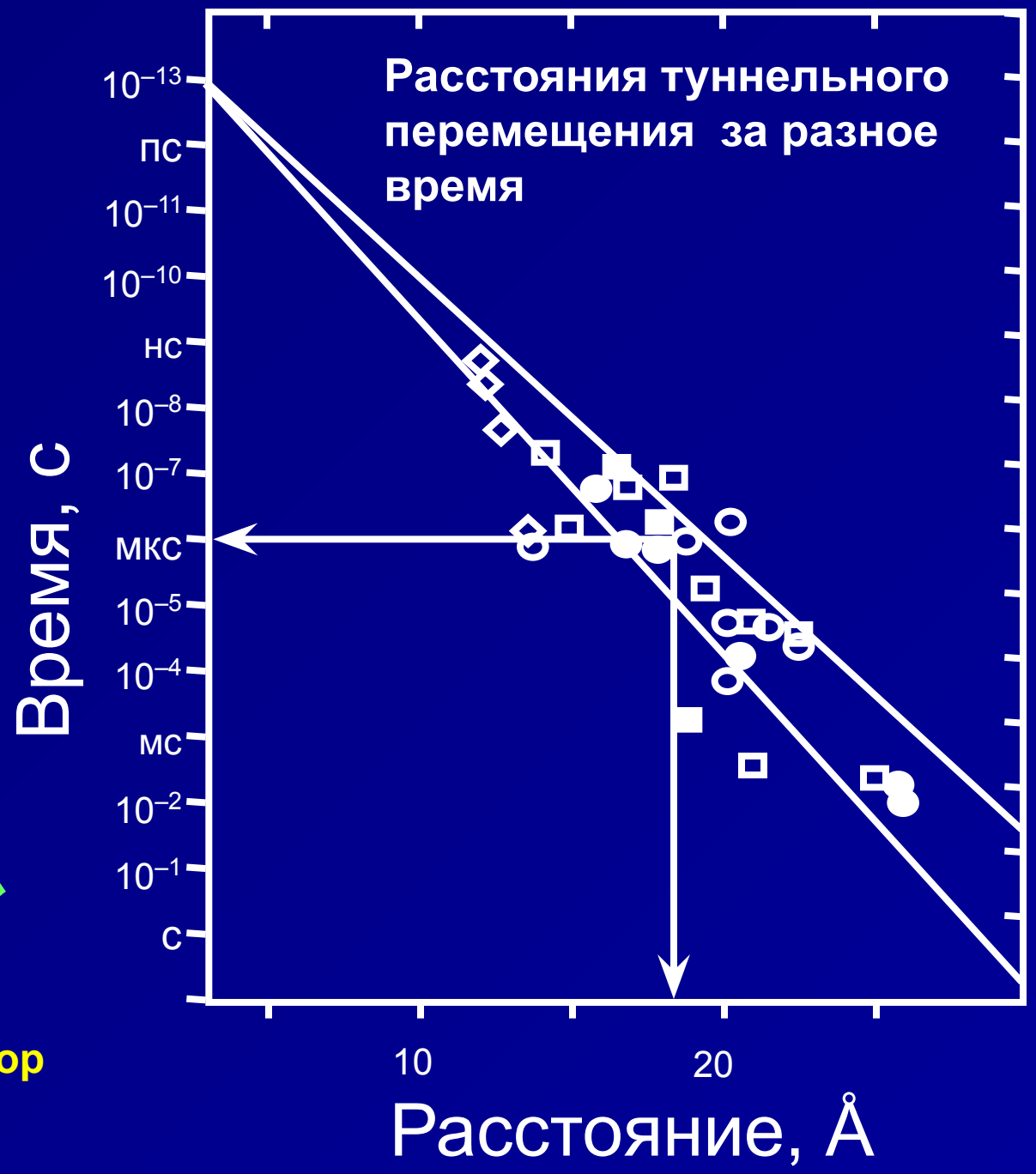
По данным: **Darrouzet, E., et al., *Large scale domain movement in cytochrome bc1: a new device for electron transfer in proteins.* TRENDS in Biochemical Sciences, 2001. 26(7): p. 445-461.**

Winkler J. R . **Electron tunneling pathways in proteins** ***Current Opinion in Chemical Biology*** 2000, **4**:192–198**.**

Туннельное перемещени е электрона в белке



Донор **Акцептор**



Биоэнергетика – наука о преобразовании энергии

Владимир Александрович Энгельгардт

1931

Окислительное фосфорилирование
(синтез АТФ)

1939

Миозин – это механофермент
(гидролиз АТФ)

Энергия окисления → Энергия гидролиза АТФ

Энергия АТФ → Механическая работа

Митохондрии

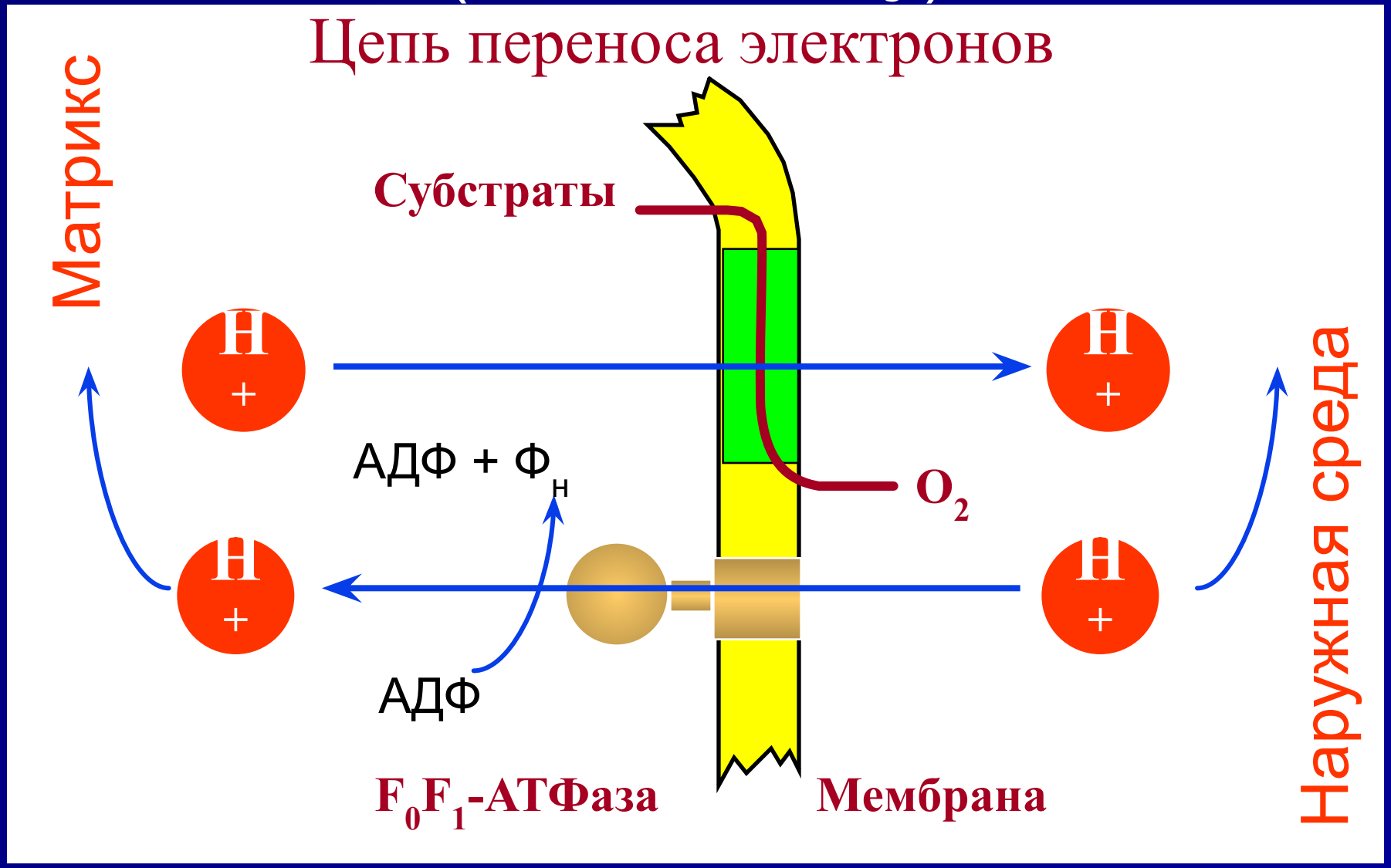
Дыхательная цепь

Теория Митчела

Работа мышцы

Ферменты как механо-химическая машина

Окислительное фосфорилирование (*По Митчеллу*)



1. Липидный бислой – изолятор для протонов. Его повреждение приводит к разобщению окислительного фосфорилирования.
2. Электрическая энергия электронов преобразуется в электрическую энергию протонов белковыми переносчиками дыхательной цепи.
3. Электрическая энергия протонов преобразуется в химическую энергию макроэргических связей АТФ ***митохондриальной АТФ-синтазой***.

Биоэнергетика – наука о преобразовании энергии

Владимир Александрович Энгельгардт

1931
Окислительное фосфорилирование
(синтез АТФ)

1939
Миозин – это механофермент
(гидролиз АТФ)

Энергия окисления → Энергия гидролиза АТФ

Энергия АТФ → Механическая работа

Митохондрии

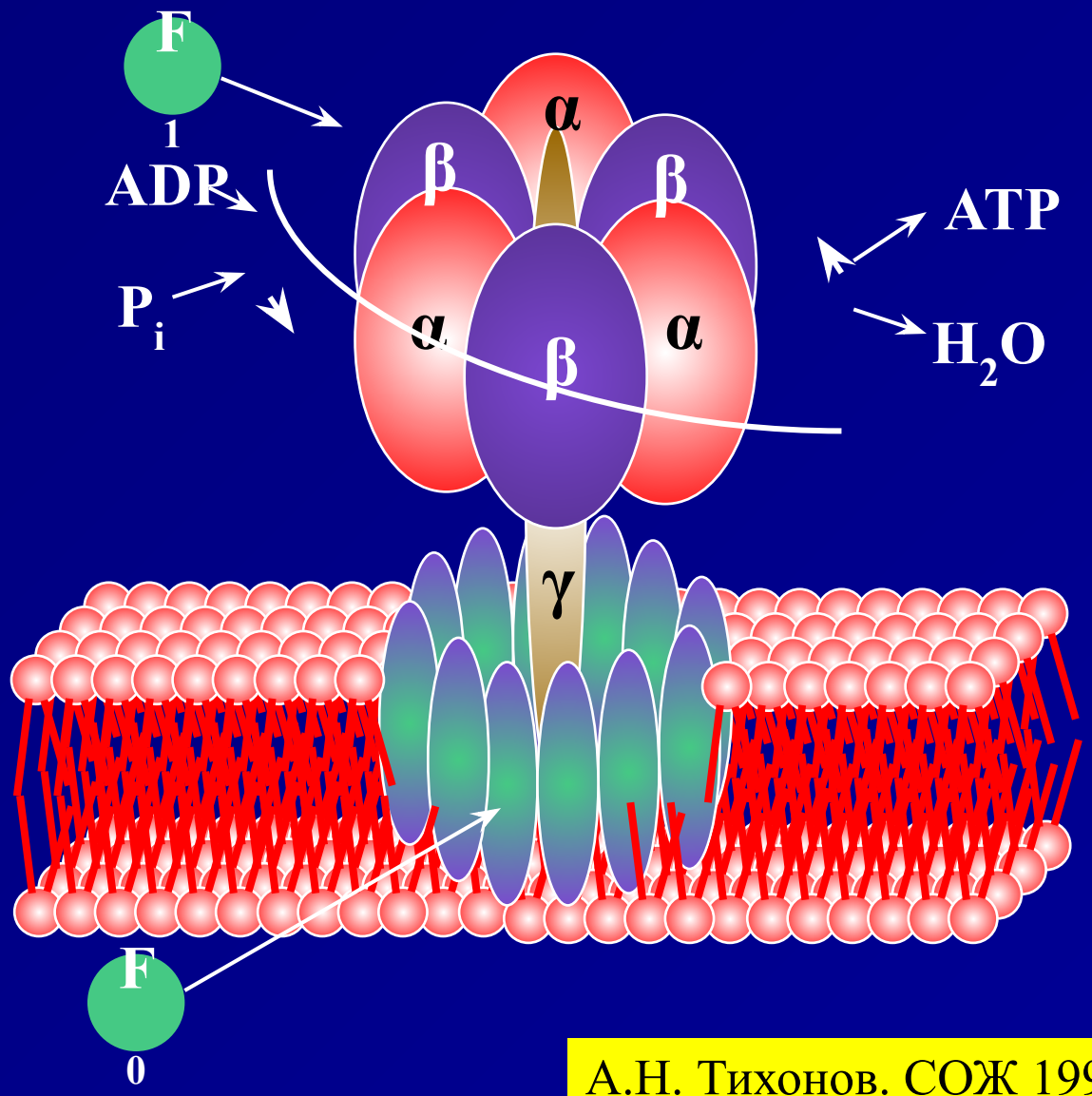
Дыхательная цепь

Теория Митчела

Работа мышцы

Ферменты как механо-химическая машина

Пространственное строение H^+ / ATP синтазного комплекса



А.Н. Тихонов. СОЖ 1997, 7(20): 10-17

Владимир Петрович Скулачев

Экспериментальное подтверждение теории Митчелла:

1. Протонофоры разобщают окислительное фосфорилирование строго пропорционально их способности переносить протоны через липидный слой.
2. Методом флуоресцетных зондов и электрометрически показано образование электрического потенциала на мембране при энергизации митохондрий.