

# Казанский университет

Владимир

Александрович

Энгельгардт

1931

Окислительное  
фосфорилирование  
(синтез АТФ)



Биоэнергетика  
клетки

Евгений

Константинович

Завойский

1939

Миозин – это  
механофермент  
(гидролиз АТФ)



Энзимология

1944

Электронный  
парамагнитный  
резонанс (ЭПР)



Непарные  
электроны



# Биоэнергетика – наука о преобразовании энергии

**Владимир Александрович**

**1931**

**Энгельгардт**

**1939**

Окислительное  
фосфорилирование  
(синтез АТФ)

Миозин – это  
механофермент  
(гидролиз АТФ)

Энергия окисления →  
Энергия гидролиза АТФ

Энергия АТФ →  
Механическая работа

Митохондрии

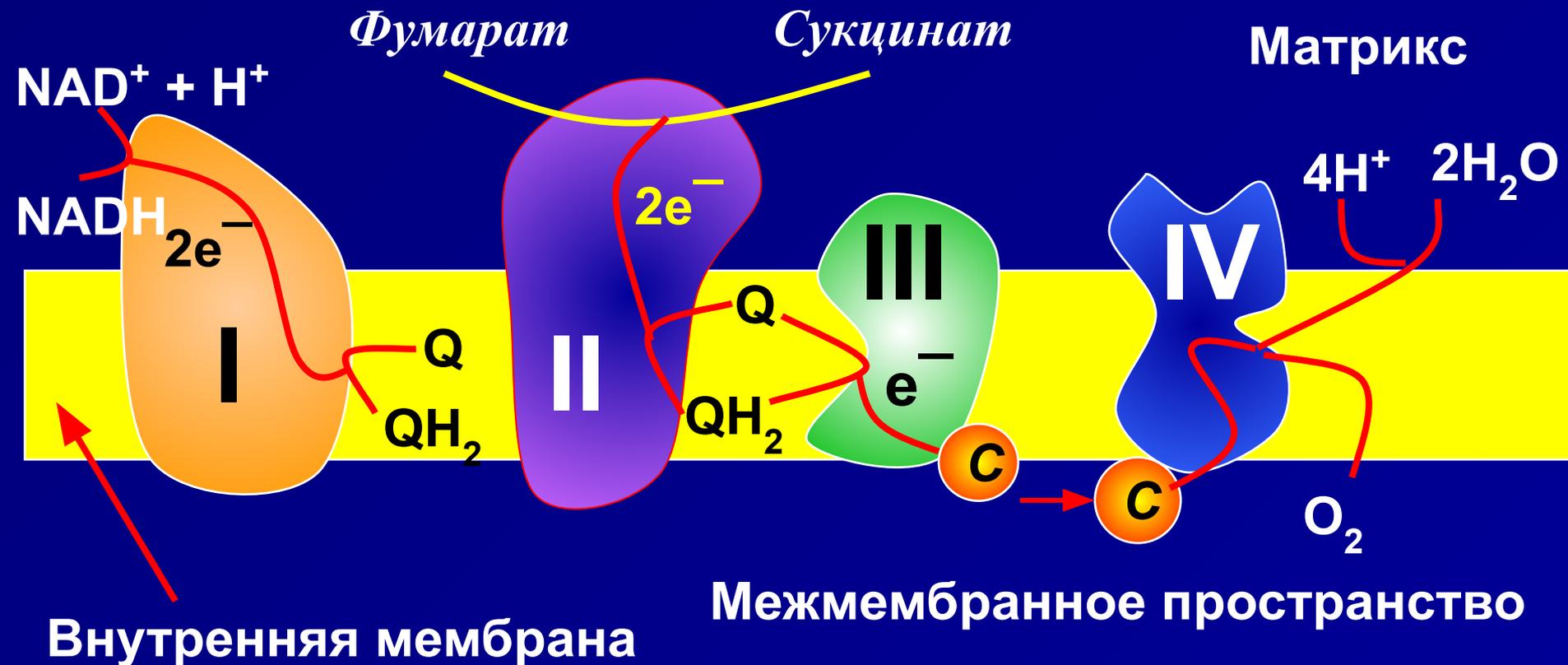
Дыхательная  
цепь

Теория  
Митчела

Работа мышцы

Ферменты как механо-  
химическая машина

# 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 межзатомные, 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

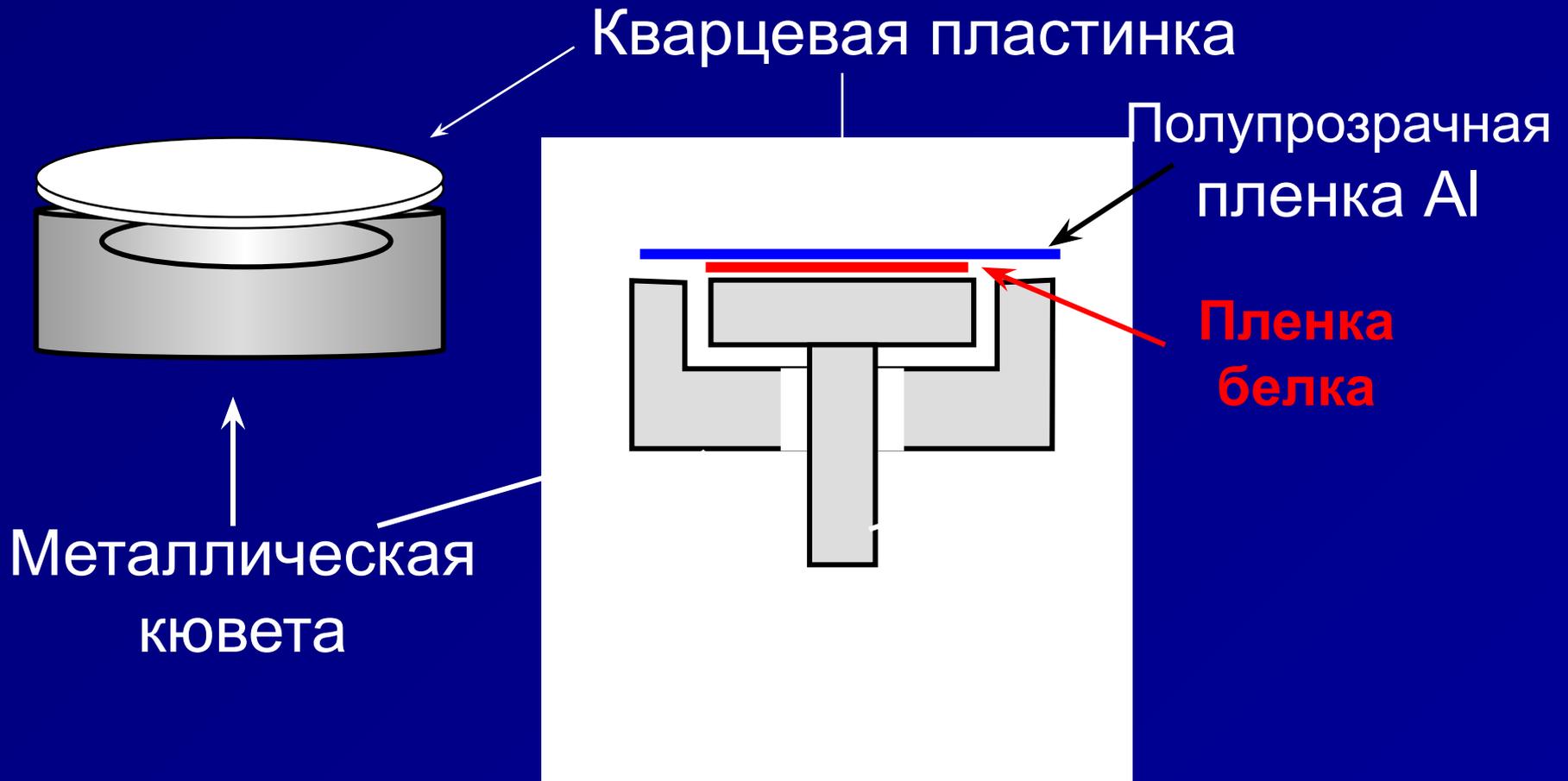
Владимиров, Ю.А. и Конев, С.В.

*О возможности миграции энергии в молекуле белка.* Биофизика, 1957. 2(1): р. 3-19.

о молекул, могущих прореагировать с окисляющимися молекулами миозина, и реакции окислительных ферментов. Сент-Дьердьи были приведены некоторые данные по фотодиссоциации перса [4, 5] по фотодиссоциации Баннистера по флуоресценции

# Измерение фотопроводимости белковой пленки

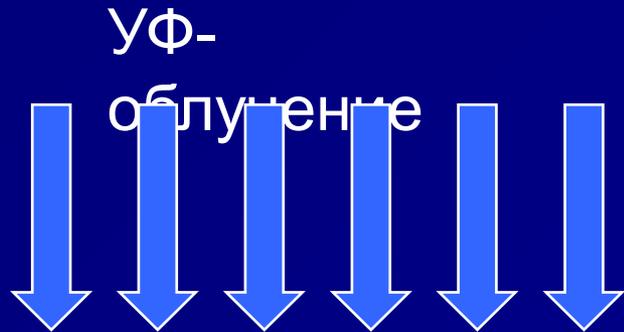
1966



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

# Диффузионный механизм фотопроводимости белков

1966



Кварцевая пластинка

Полупрозрачная

металлическая пленка

**Слой белка**

Металлическая  
подложка

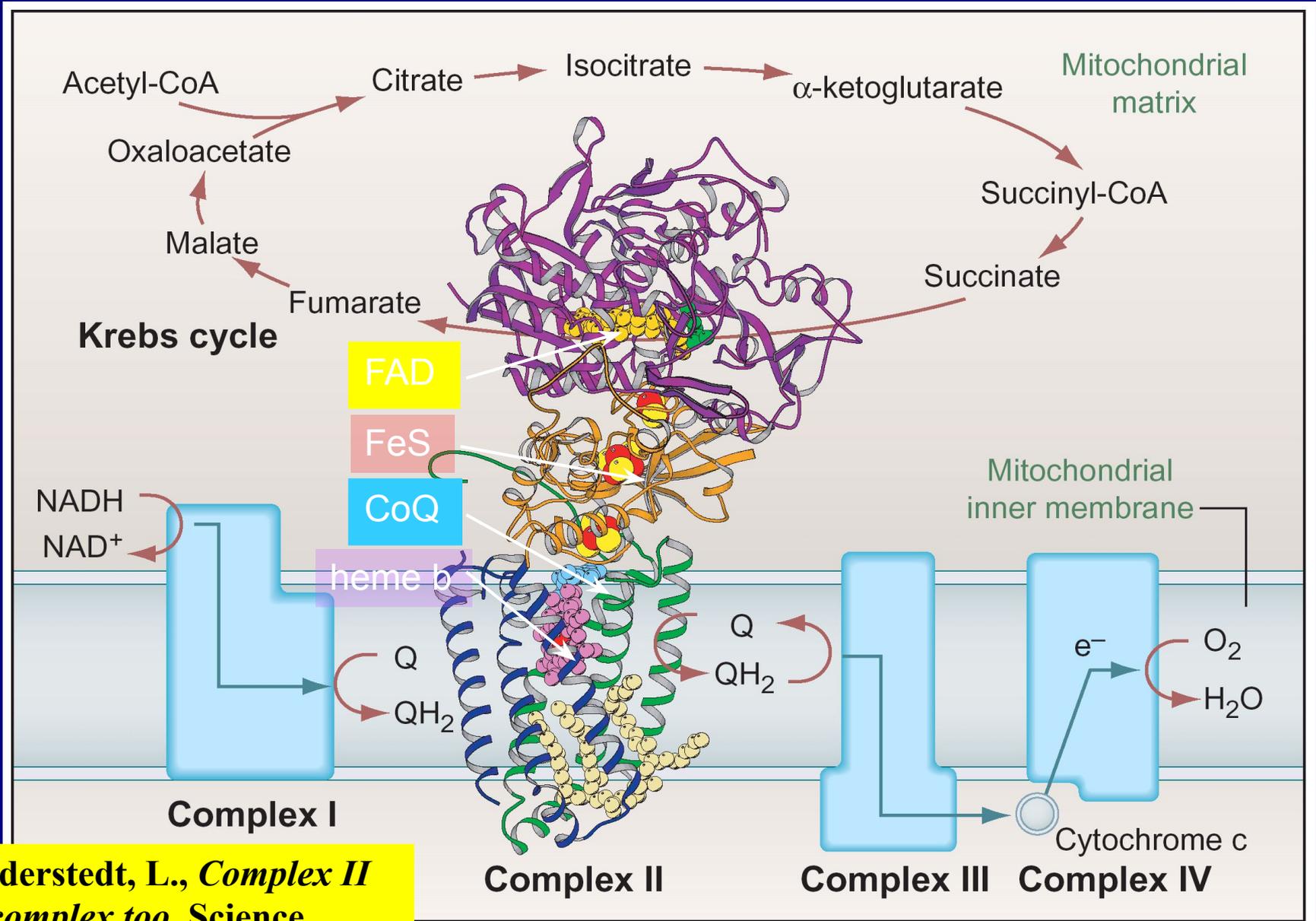


Фотопроводимость  
наблюдалась в пленках при  
облучении длинами волн  
короче 300 нм (более 4 эВ).  
«Квант энергии» в клетке =  
0,2 эВ.

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

ФАД

Железо-  
серные  
центры

Коэнзим Q  
(убихинон)

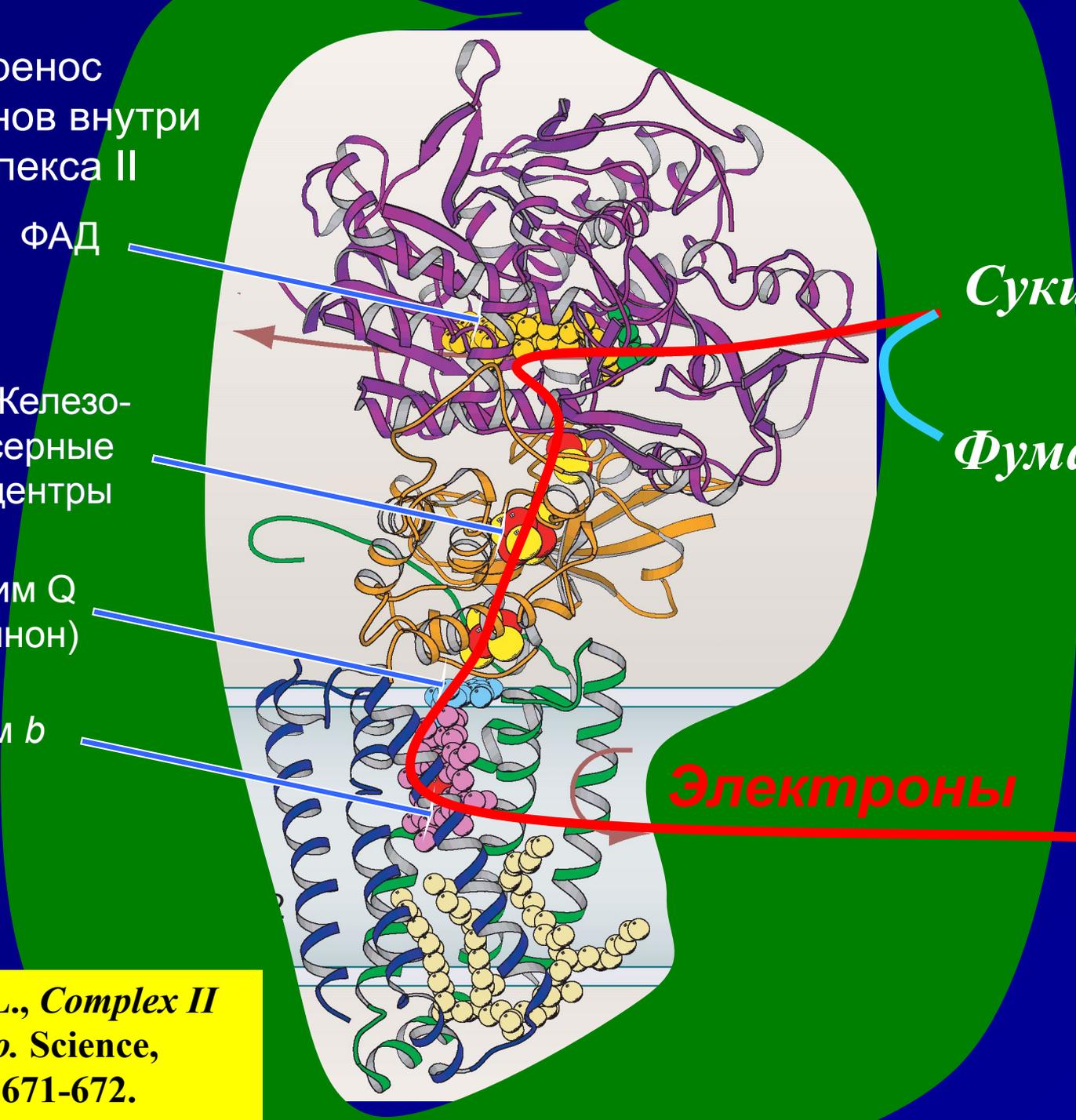
Гем *b*

Сукцинат

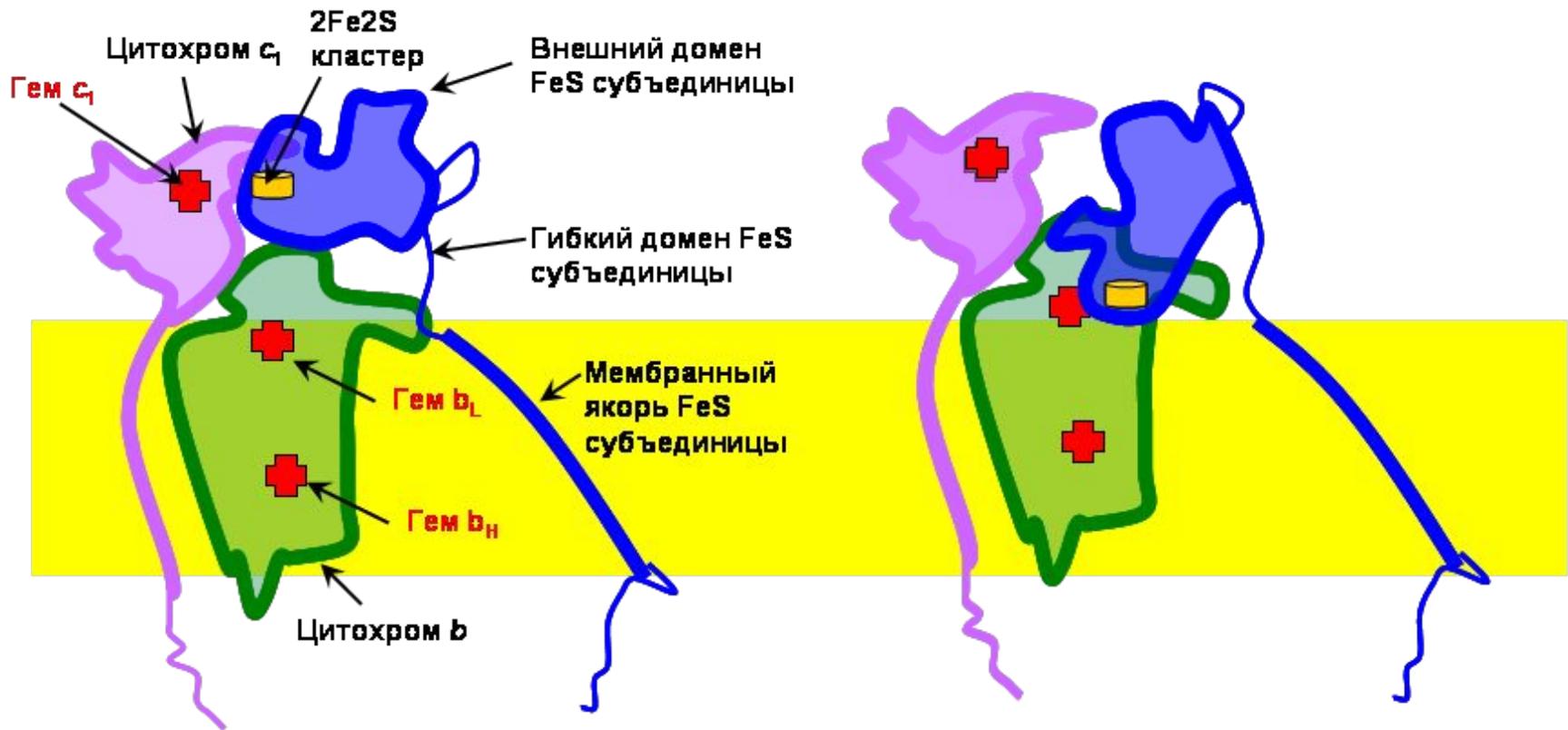
Фумарат

Электроны

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



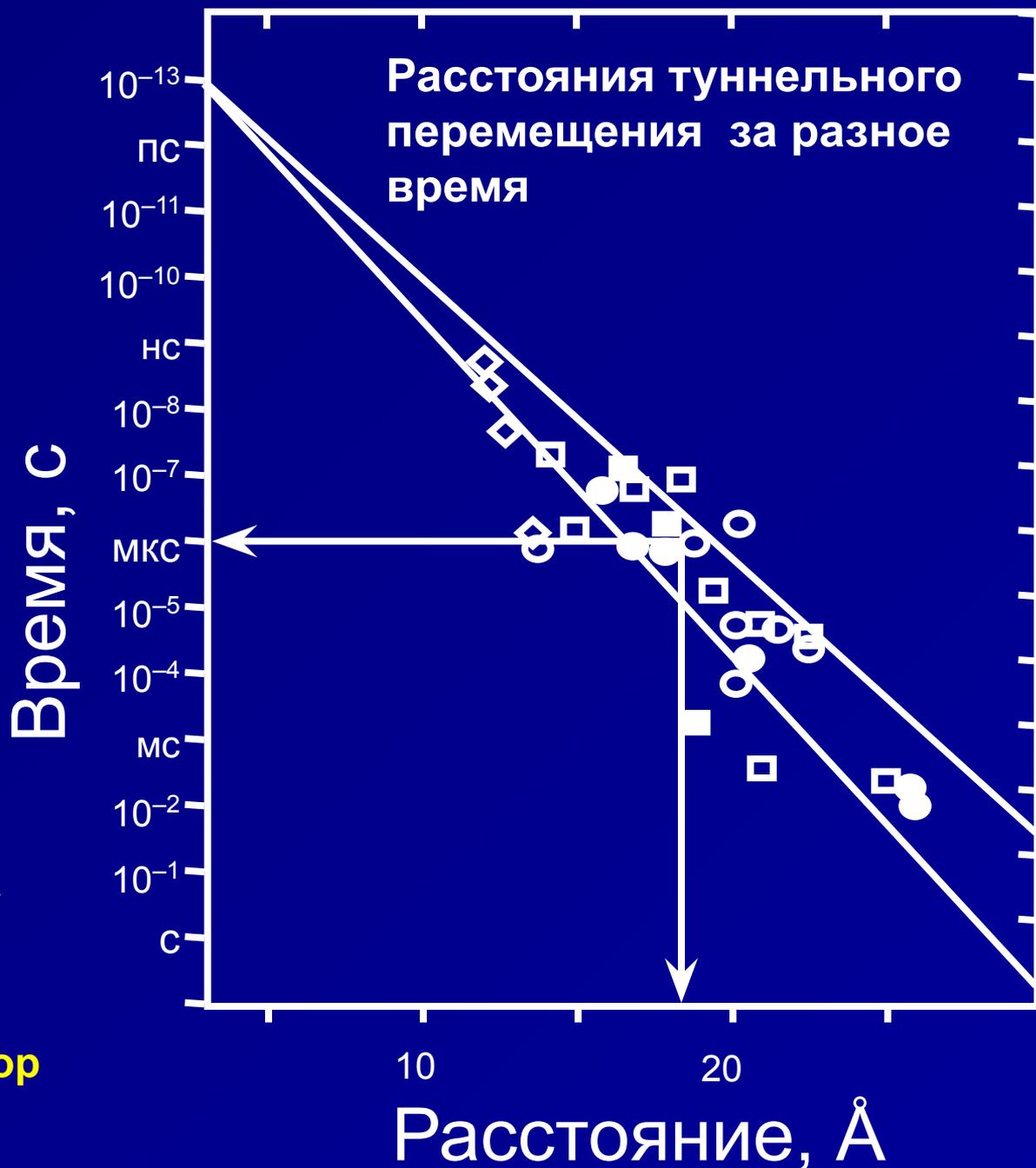
# Эстафетный перенос электронов в $bc_1$ комплексе



По данным: Darrouzet, E., et al., *Large scale domain movement in cytochrome  $bc_1$ : 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 перемещение  
электрона  
в белке



# Биоэнергетика – наука о преобразовании энергии

**Владимир Александрович**

**1931**

**Энгельгардт**

**1939**

Окислительное  
фосфорилирование  
(синтез АТФ)

Миозин – это  
механофермент  
(гидролиз АТФ)

Энергия окисления →  
Энергия гидролиза АТФ

Энергия АТФ →  
Механическая работа

Митохондрии

Работа мышцы

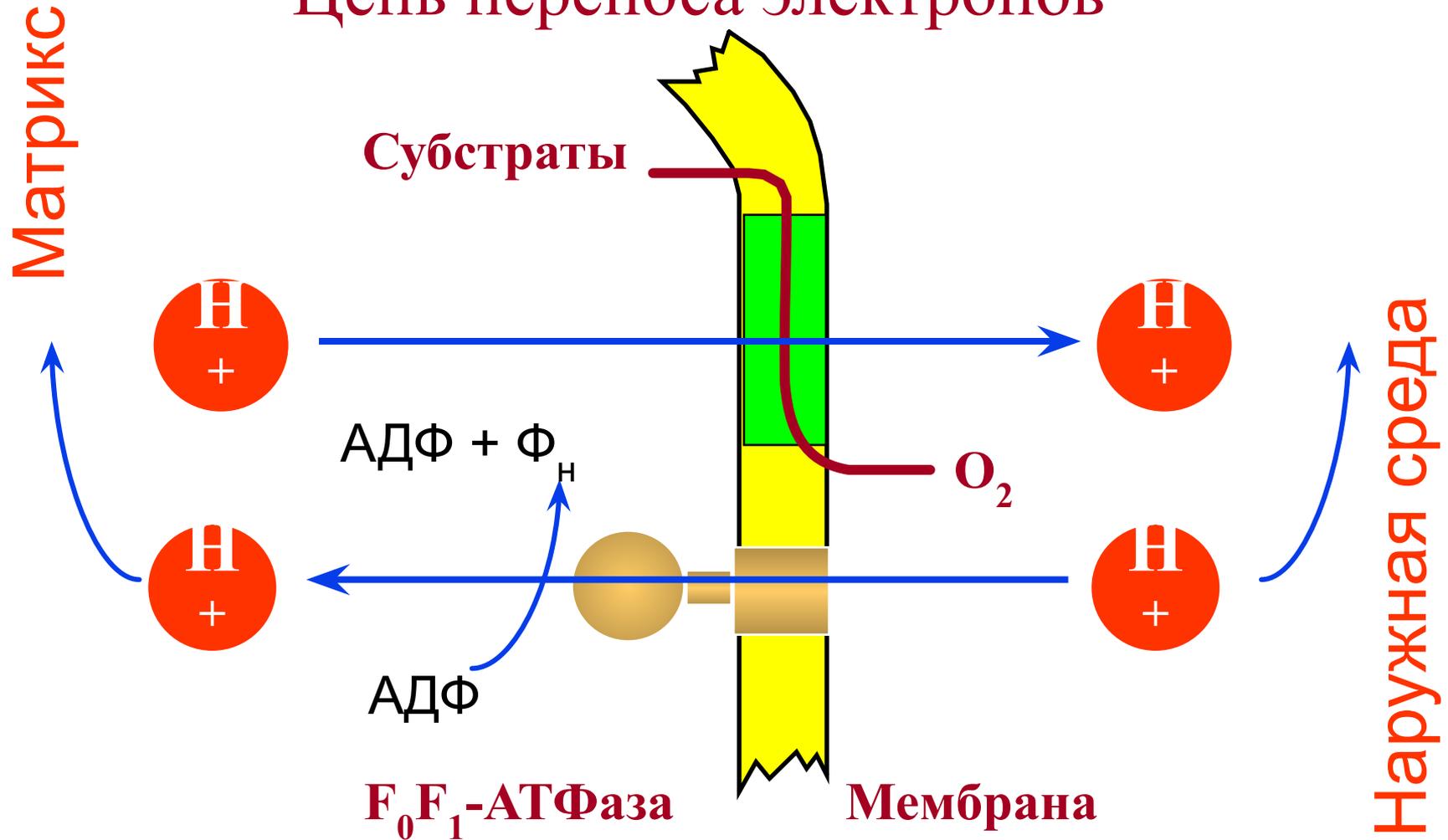
Дыхательная  
цепь

Теория  
Митчела

Ферменты как механо-  
химическая машина

# Окислительное фосфорилирование (По Митчеллу)

Цепь переноса электронов



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**

**1931**

Окислительное  
фосфорилирование  
(синтез АТФ)

**Энгельгардт**

**1939**

Миозин – это  
механофермент  
(гидролиз АТФ)

Энергия окисления →  
Энергия гидролиза АТФ

Энергия АТФ →  
Механическая работа

Митохондрии

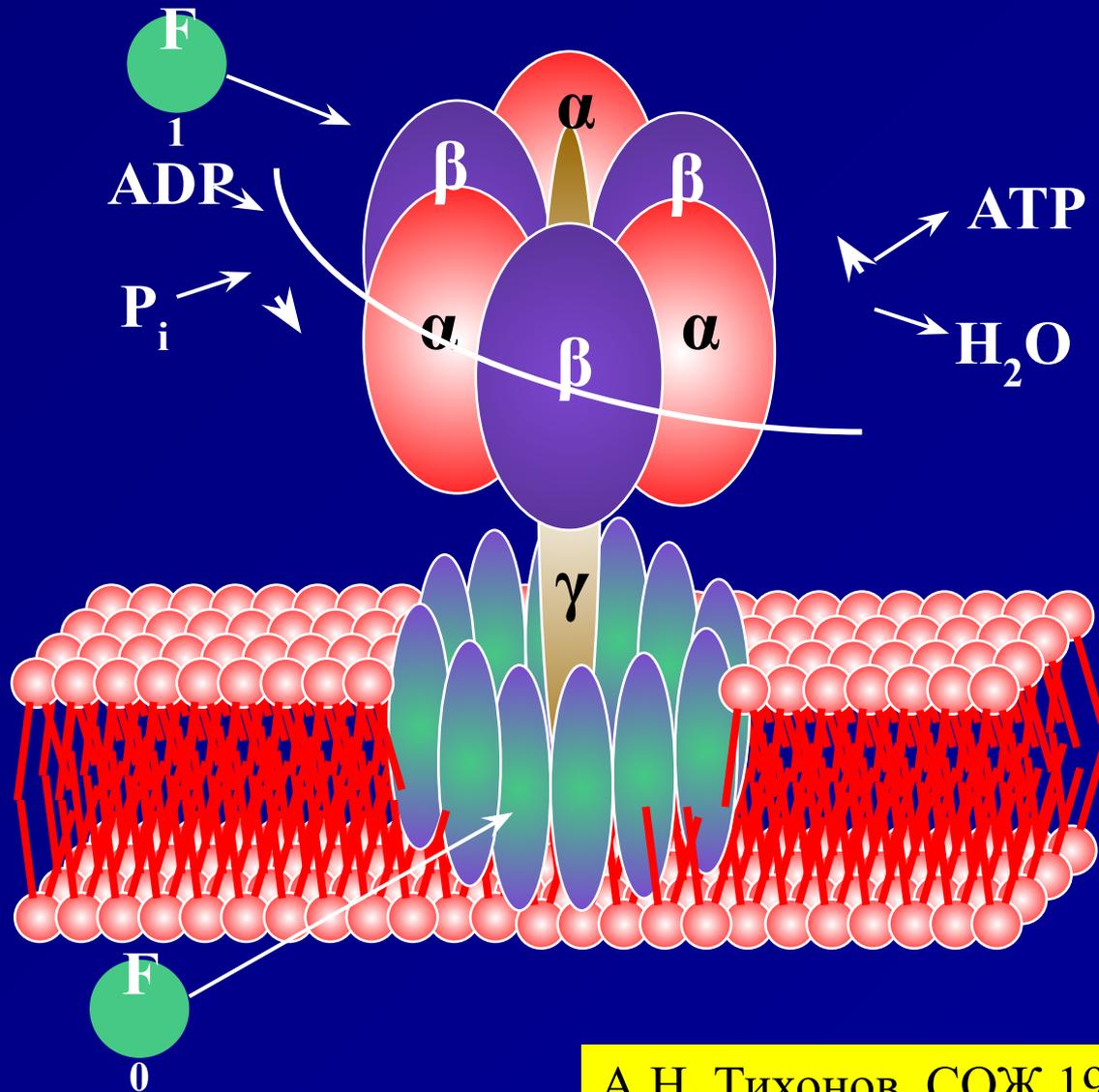
Дыхательная  
цепь

Теория  
Митчела

Работа мышцы

Ферменты как механо-  
химическая машина

# Пространственное строение $H^+$ / АТФ синтазного комплекса



# Владимир Петрович Скулачев

Экспериментальное  
подтверждение теории  
Митчелла:

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

