

第七章 细胞的能量 转换器

-----线粒体和叶绿体

(自学为主)

◆两种产能的细胞器:

叶绿体(植物): 太阳光能→化学能

线粒体: 有机物→直接能源**ATP**

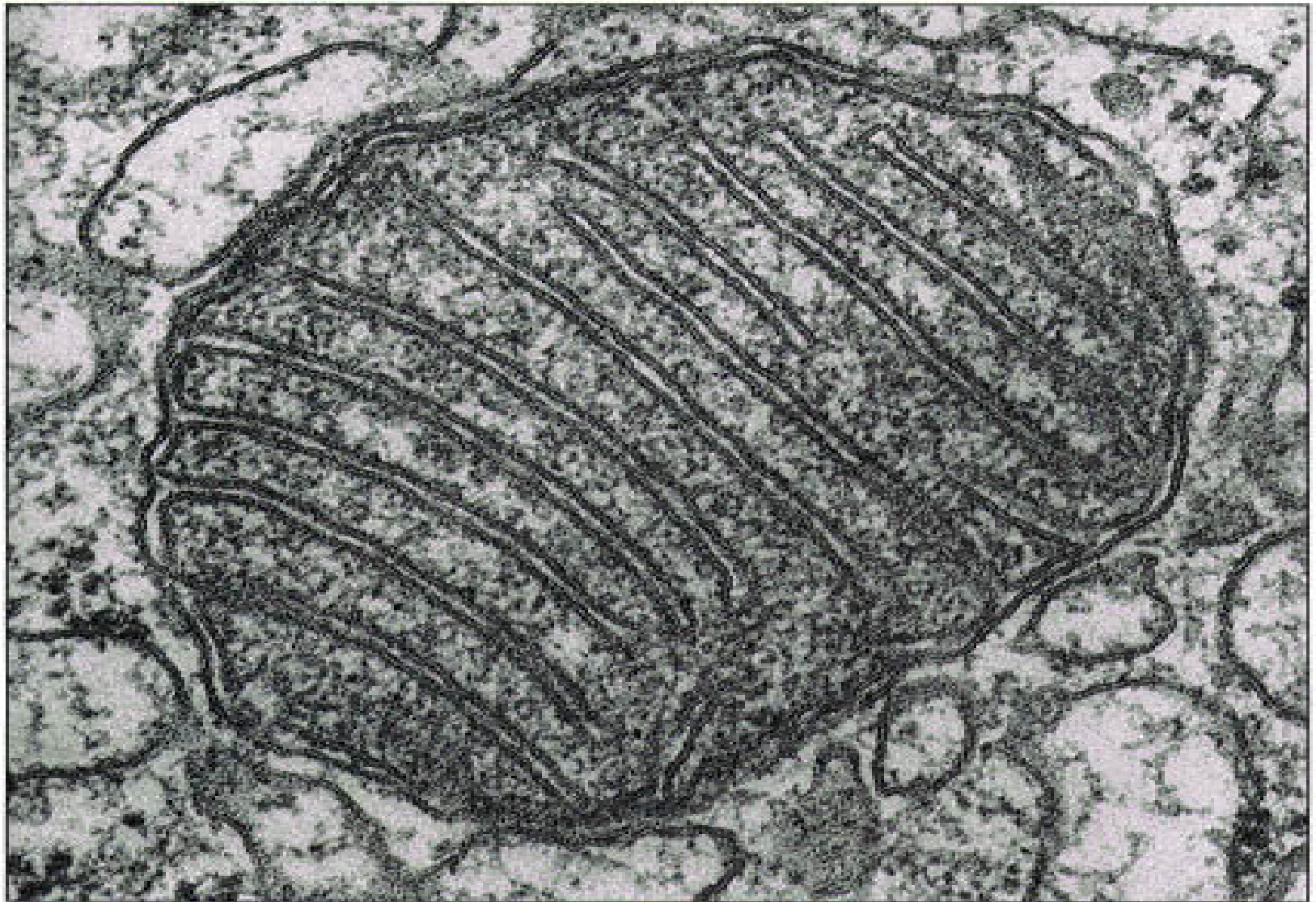
◆相似性:

结构: 双层单位膜

半自主性细胞器, 有环状**DNA**, 可转录**RNA**, 合成蛋白质

第一节 线粒体

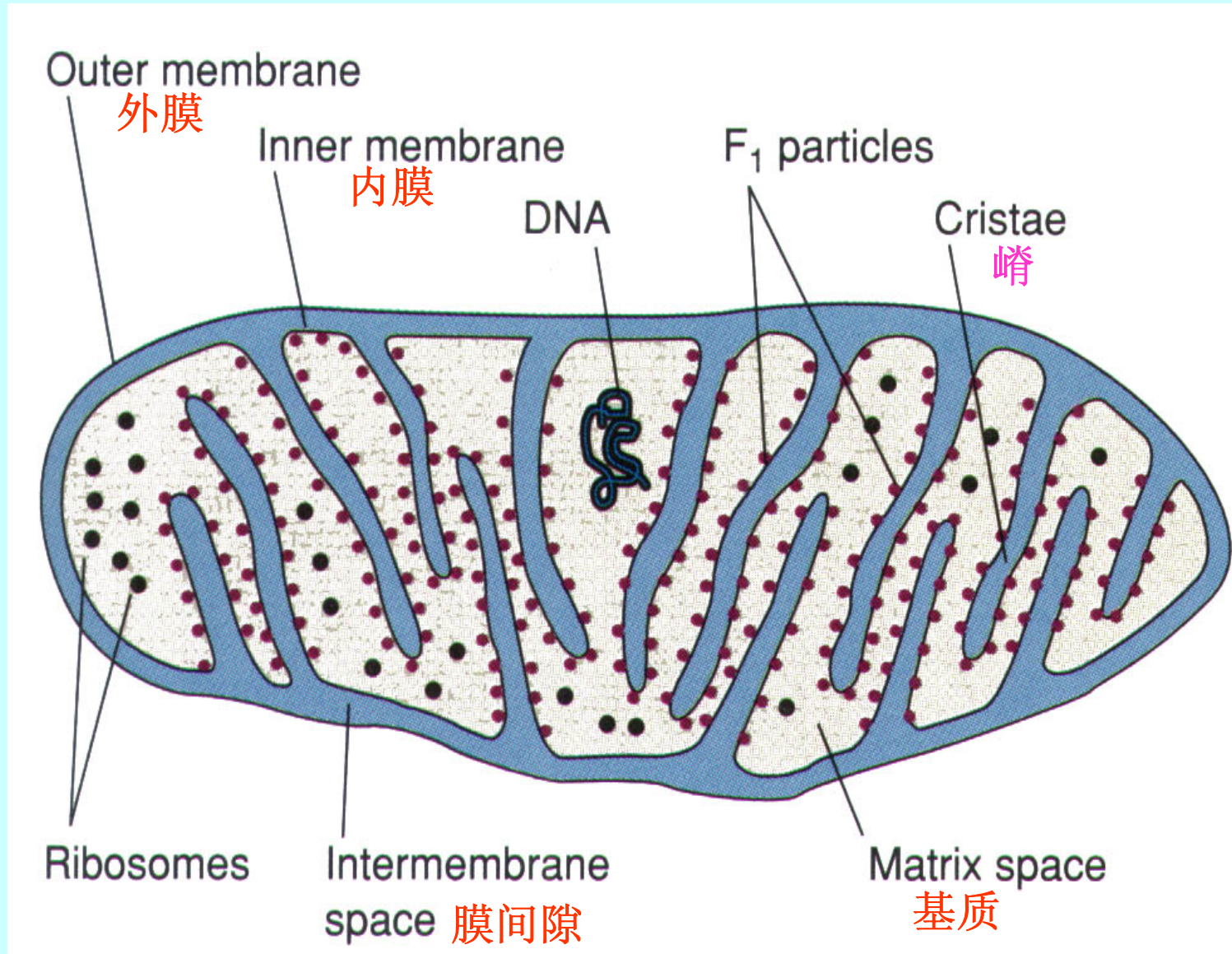
➡ 线粒体的形态



100 nm

大小：微米级

➡线粒体结构与化学组成



化学组成:
蛋白质
(65-70%)
脂 (25-30%)

➡外膜(outer membrane)

- ◆ 标志酶:单胺氧化酶;
- ◆ 外膜含有较大的通道蛋白:孔蛋白;

➡内膜(inner membrane)

- ◆ 线粒体进行电子传递和氧化磷酸化的部位, 通透性差; ?
- ◆ 含有大量的心磷脂(cardiolipin), 心磷脂与离子的不可渗透性有关;
- ◆ 含有与能量转换相关的蛋白:执行氧化反应的电子传递链, ATP合成酶, 线粒体内膜转运蛋白;
- ◆ 内膜的标志酶是细胞色素氧化酶;

➡膜间隙 (intermembrane space)

- ◆标志酶: 腺苷酸激酶

- ◆功能: 建立电化学梯度

➡线粒体基质 (matrix)

- ◆标志酶: 苹果酸脱氢酶

- ◆功能: TCA循环场所, 提供氢

 - 生化角度:

 - 细胞生物学角度:

线粒体主要酶的分布

部位	酶 的 名 称	部 位	酶 的 名 称
外膜	单胺氧化酶 NADH-细胞色素c还原酶（对鱼藤酮不敏感） 犬尿酸羟化酶 酰基辅酶A合成酶	膜间隙	腺苷酸激酶 二磷酸激酶 核苷酸激酶
内膜	细胞色素b, c, c ₁ , a, a ₃ 氧化酶 ATP合成酶系 琥珀酸脱氢酶 β -羟丁酸和 β -羟丙酸脱氢酶 肉毒碱酰基转移酶 丙酮酸氧化酶 NADH脱氢酶（对鱼藤酮敏感）	基质	柠檬酸合成酶、苹果酸脱氢酶 延胡索酸酶、异柠檬酸脱氢酶 顺乌头酸酶、谷氨酸脱氢酶 脂肪酸氧化酶系、 天冬氨酸转氨酶、 蛋白质和核酸合成酶系、 丙酮酸脱氢酶复合物

➡ 线粒体的功能

进行氧化磷酸化, 合成生命活动所需的
直接能量**ATP**.

➡ 氧化磷酸化作用

糖的有氧氧化(细胞氧化或生物氧化):

◆ 糖氧化成丙酮酸

◆ 丙酮酸脱羧生成乙酰CoA

◆ 乙酰CoA进入三羧酸循环彻底氧化

➡ 葡萄糖酵解生成丙酮酸

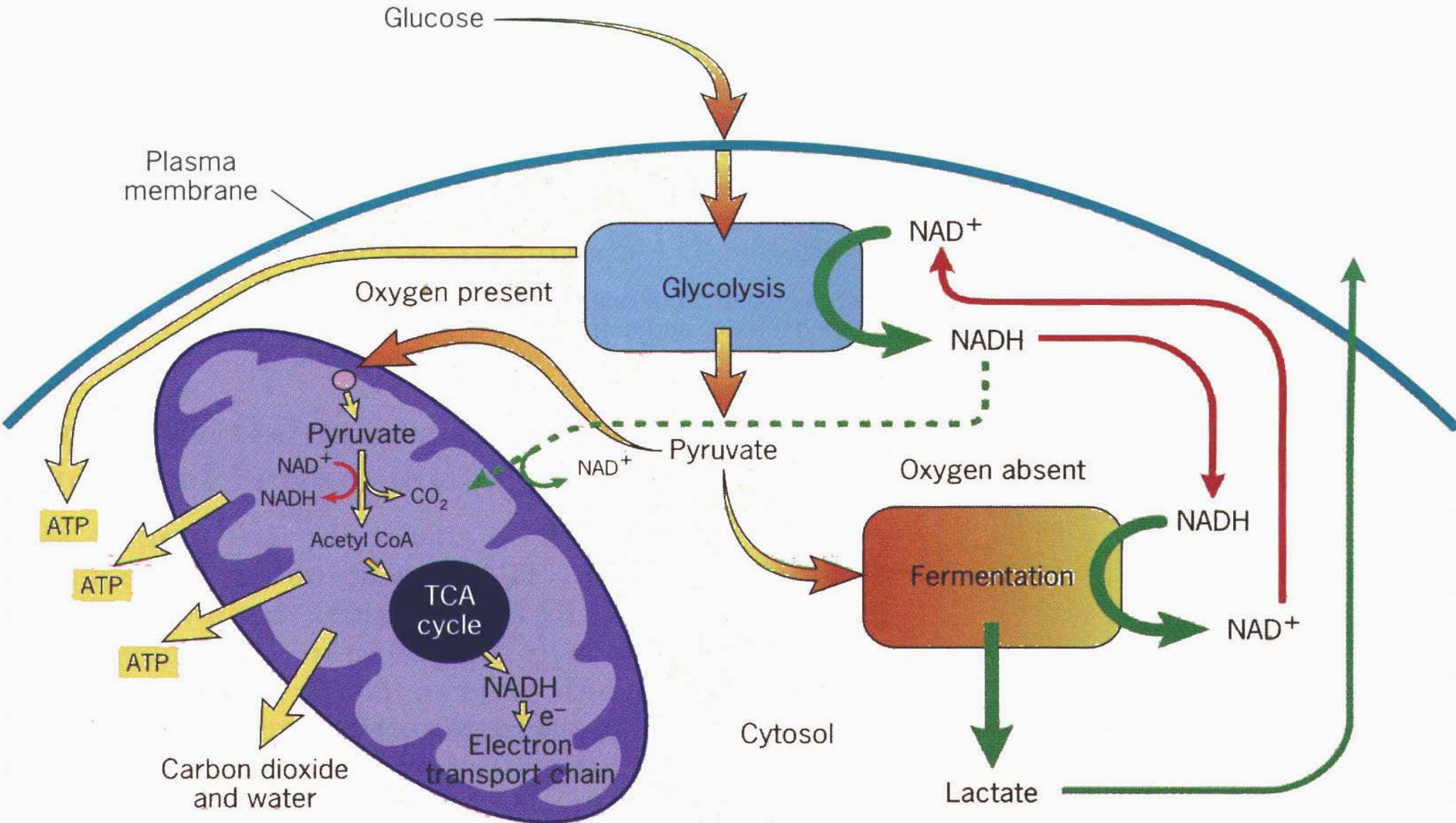
细胞质中的葡萄糖(或糖原)在一系列酶的催化下生成丙酮酸的过程成为糖酵解(glycolysis)。

➡ 线粒体基质中乙酰辅酶A的生成

◆ 丙酮酸跨膜进入线粒体基质；

◆ 在丙酮酸脱氢酶(pyruvate dehydrogenase)作用下氧化成乙酰辅酶A。

糖的酵解与氧化

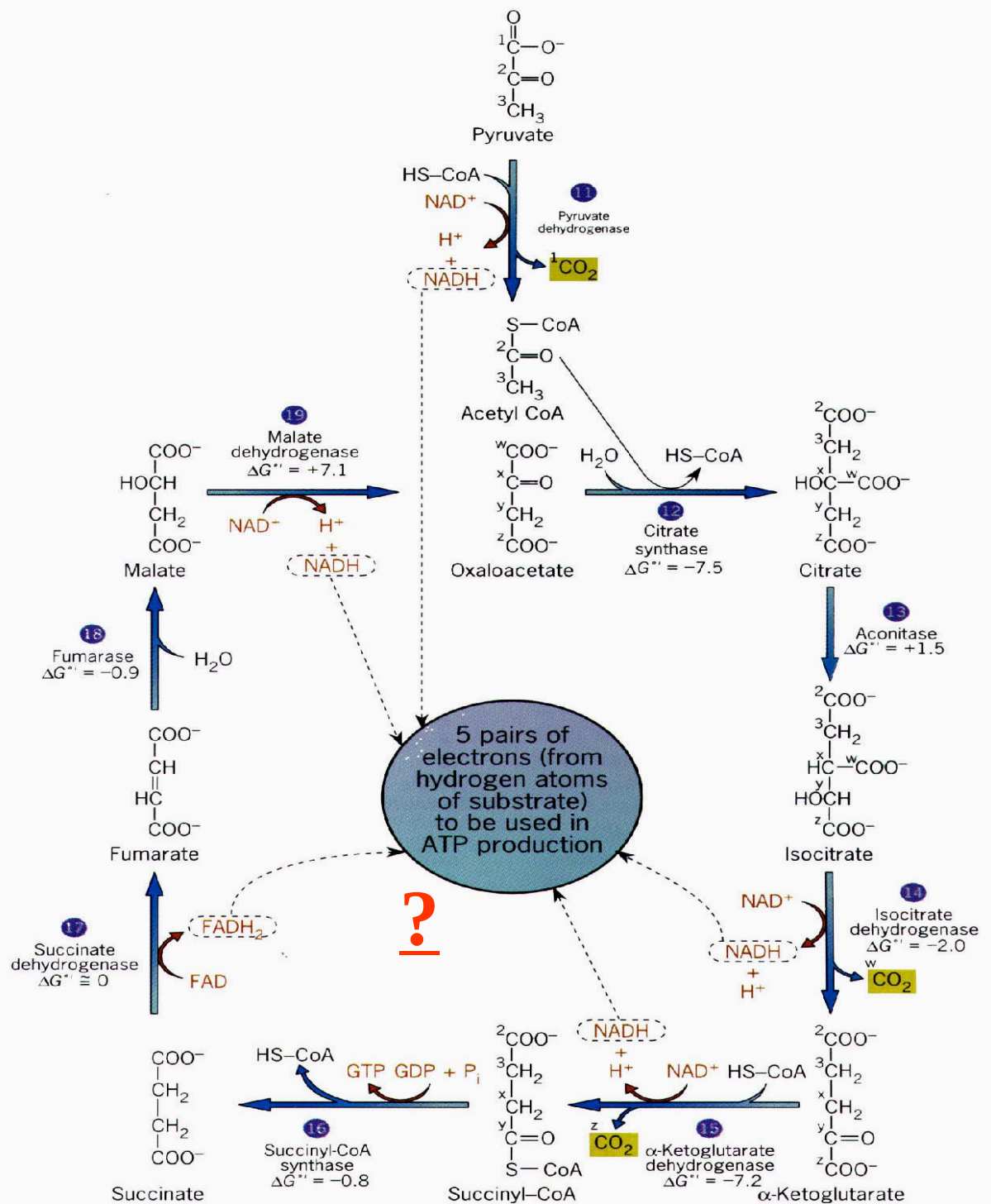


三羧酸循环

(tricarboxylic acid cycle, TCA)

又叫Krebs循环、

柠檬酸循环



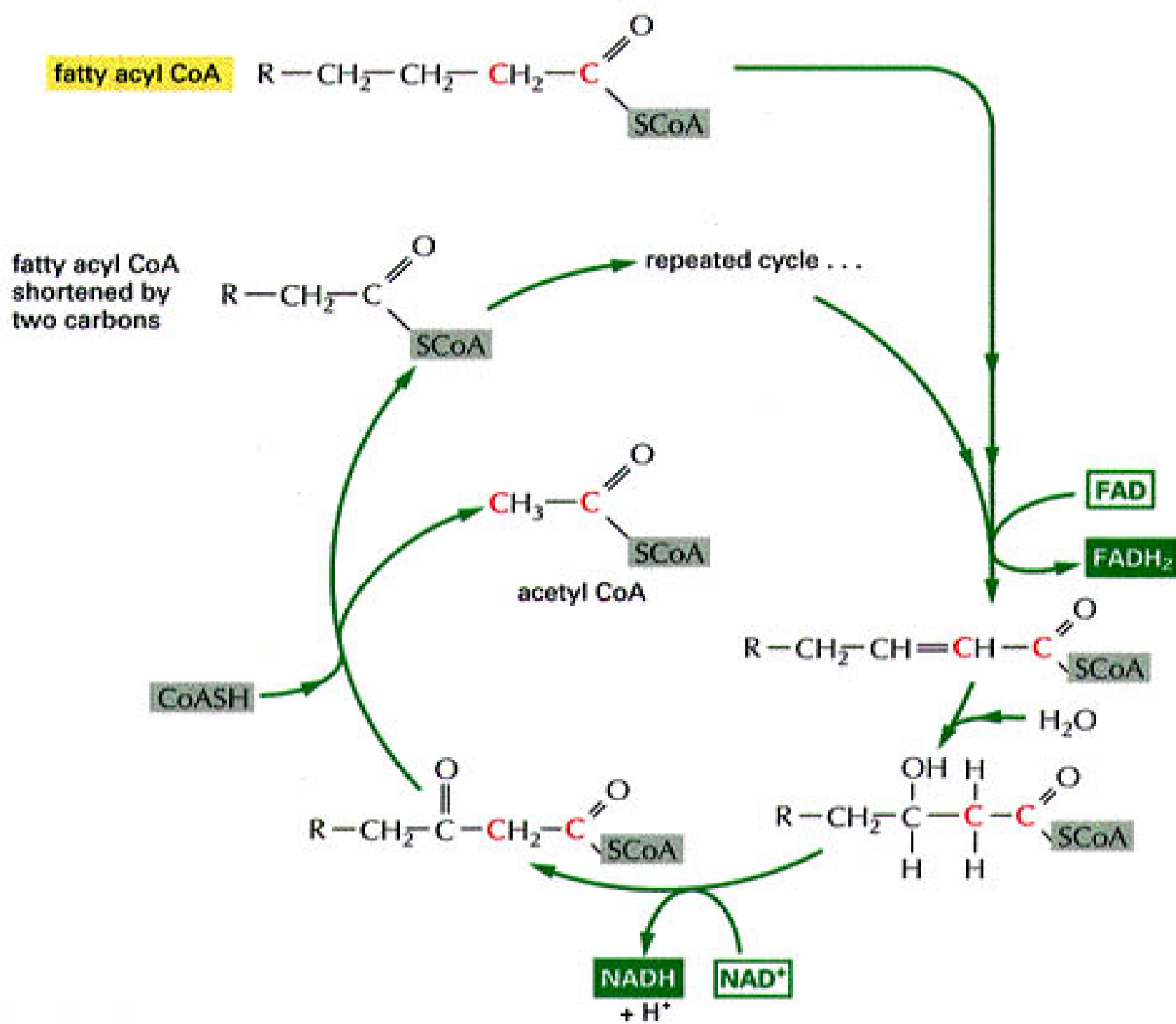
- 生物需要能量时首先利用多糖；

- 必要时也会利用脂肪：

 - ▲脂肪被水解生成脂肪酸；

 - ▲脂肪酸能够进入线粒体基质，通过 β 氧化途径(β -oxidation pathway)循环氧化生成乙酰辅酶A。

β 氧化



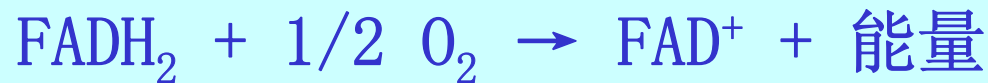
呼吸链与电子传递

➡线粒体能量转换策略 ?

◆三羧酸循环中的能量转换



◆NADH和FADH₂必须被氧化才能维持三羧酸循环



◆NADH和FADH₂被氧化时释放的H⁺、电子和能量如何安置?

呼吸链(respiratory chain)

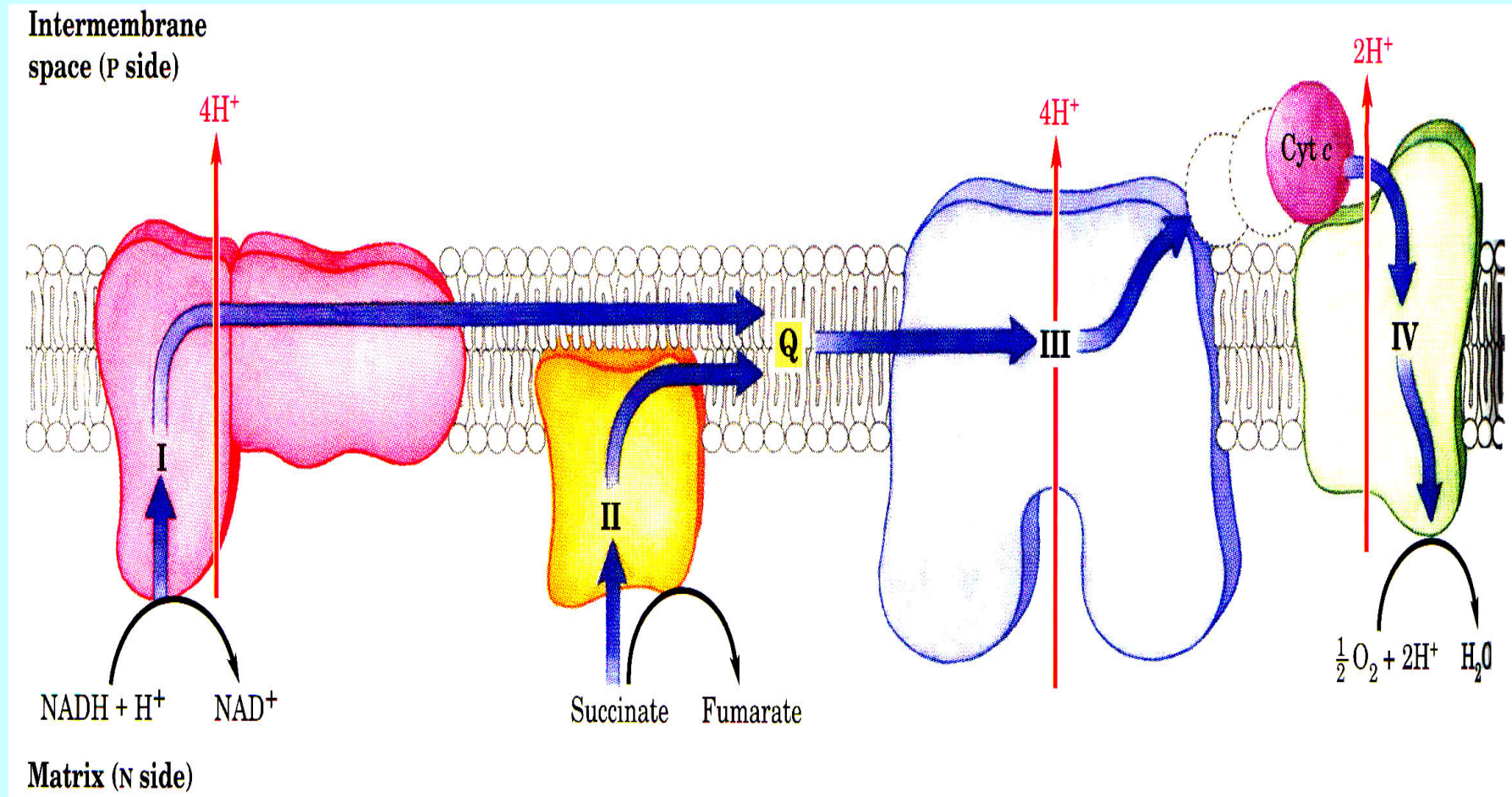
◆ 又称电子传递链,是四种复合物组成的复合体

◆ 功能是参与对还原型辅酶的氧化

- H^+ 的传递

- 电子传递

The Electron Transport Chain



呼吸链中的功能复合物

●复合物 I (NADH-CoQ reductase)

作用：催化NADH氧化，从中获得2高能电子→辅酶Q；
泵出4 H⁺到线粒体膜间隙

●复合物 II (琥珀酸脱氢酶复合物, succinate-coenzyme Q oxidoreductase)

作用：催化2高能电子→FAD→Fe-S→辅酶Q (无H⁺泵出)

●复合物 III (细胞色素bc1)

作用：催化电子从UQH₂→cyt c；泵出4 H⁺

●复合物 IV (细胞色素C氧化酶)

作用：催化电子从cyt c→分子O₂ 形成水

递电子体与递氢体

- ◆ 递电子体

- ◆ 递氢体

- ◆ 电子传递、氢质子传递方式

- ◆ 电子载体类型：铁硫蛋白、黄素蛋白、细胞色素和辅酶Q

➡ 主次电子传递链

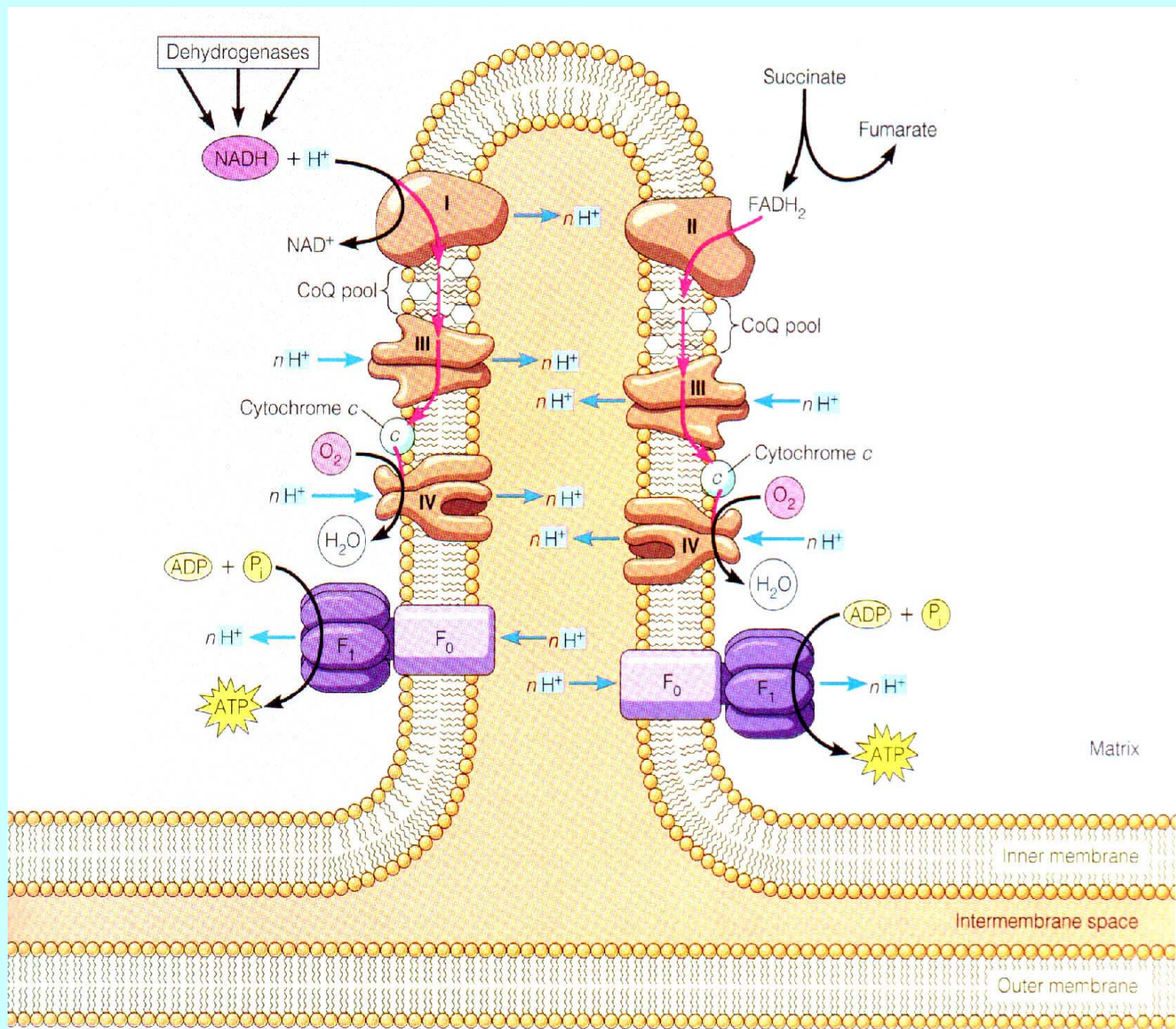
◆ 主呼吸链：

复合物 I、III 和 IV 构成主呼吸链，从 NADH 来的电子依次经过这三个复合物，进行传递。

◆ 次呼吸链：

复合物 II、III、IV 构成次呼吸链，来自 FADH_2 的电子不经过 I。

线粒体内膜主要呼吸链



在电子传递过程中，有几点需要说明

◆四种类型电子载体：黄素蛋白、白细胞色素(血红素基团Fe)、 Fe-S中心、辅酶Q。前三种与蛋白质结合，辅酶Q为脂溶性醌

◆电子传递起始于NADH脱氢酶催化NADH氧化，形成高能电子 (能量转化)， 终止于O₂形成水

◆电子传递方向按氧化还原电势递增的方向传递(NAD⁺/NAD最低, H₂O/O₂最高)

◆高能电子释放的能量驱动线粒体内膜三大复合物(H⁺-泵)将H⁺从基质泵到膜间隙， 形成跨线粒体内膜H⁺梯度(能量转化)

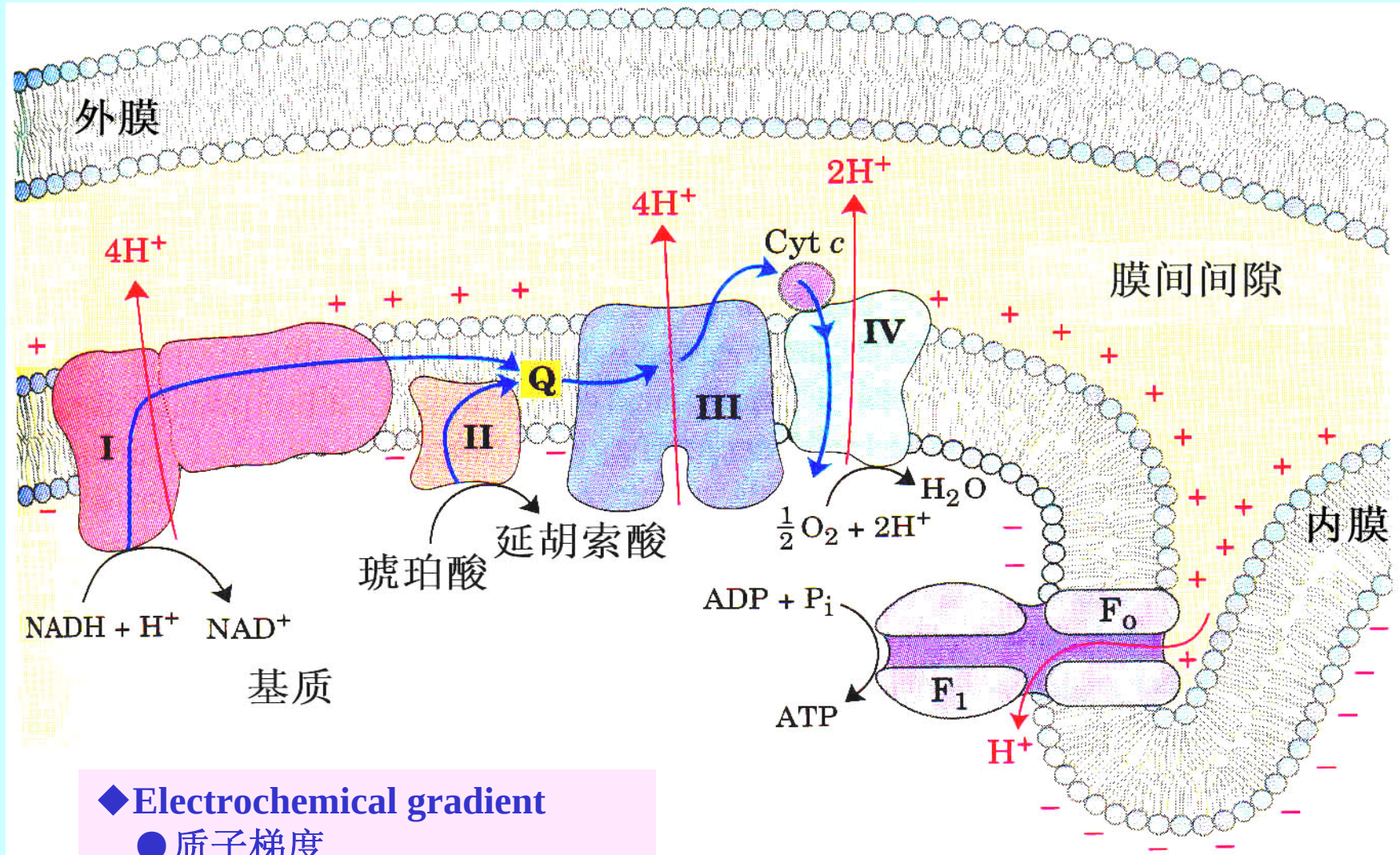
◆电子传递链各组份在膜上不对称分布

➡ 电子传递与氧化磷酸化

◆ Oxidative phosphorylation

活细胞中伴随着呼吸链的氧化作用所发生的能量转换和ATP的形成过程。

线粒体内膜电化学梯度的建立



◆ Electrochemical gradient

● 质子梯度

● 内膜两侧电位差

◆ proton-motive force(质子动势)

➡ F_1-F_0 复合物是ATP合成部位

通过线粒体内膜重建实验证明位于内膜上的F1-F0颗粒是呼吸链中ATP合成的部位。

F0-F1颗粒的结构和功能

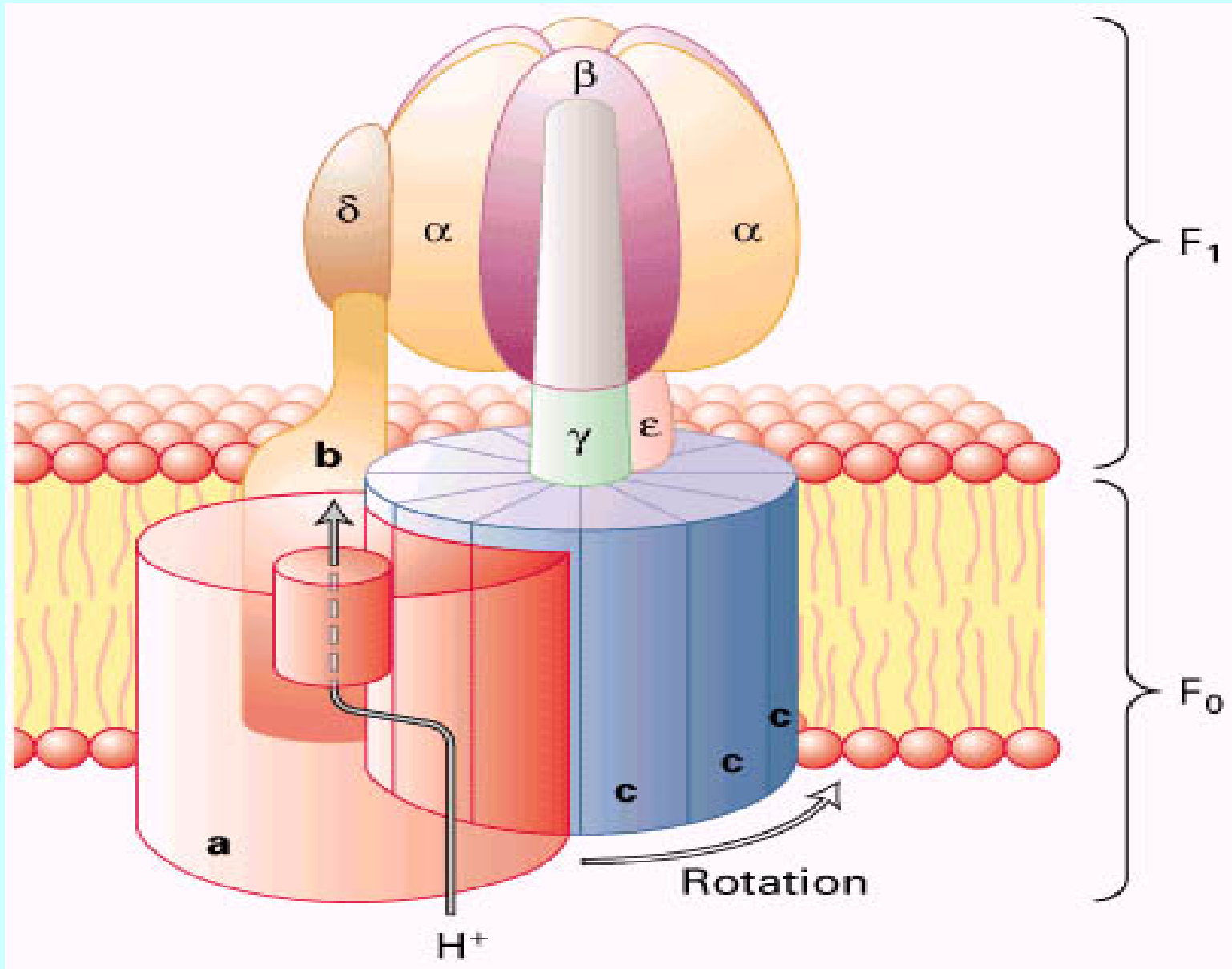
◆ 酶活性:两种酶活性

- ATP水解酶的活性

- ATP合成酶的活性

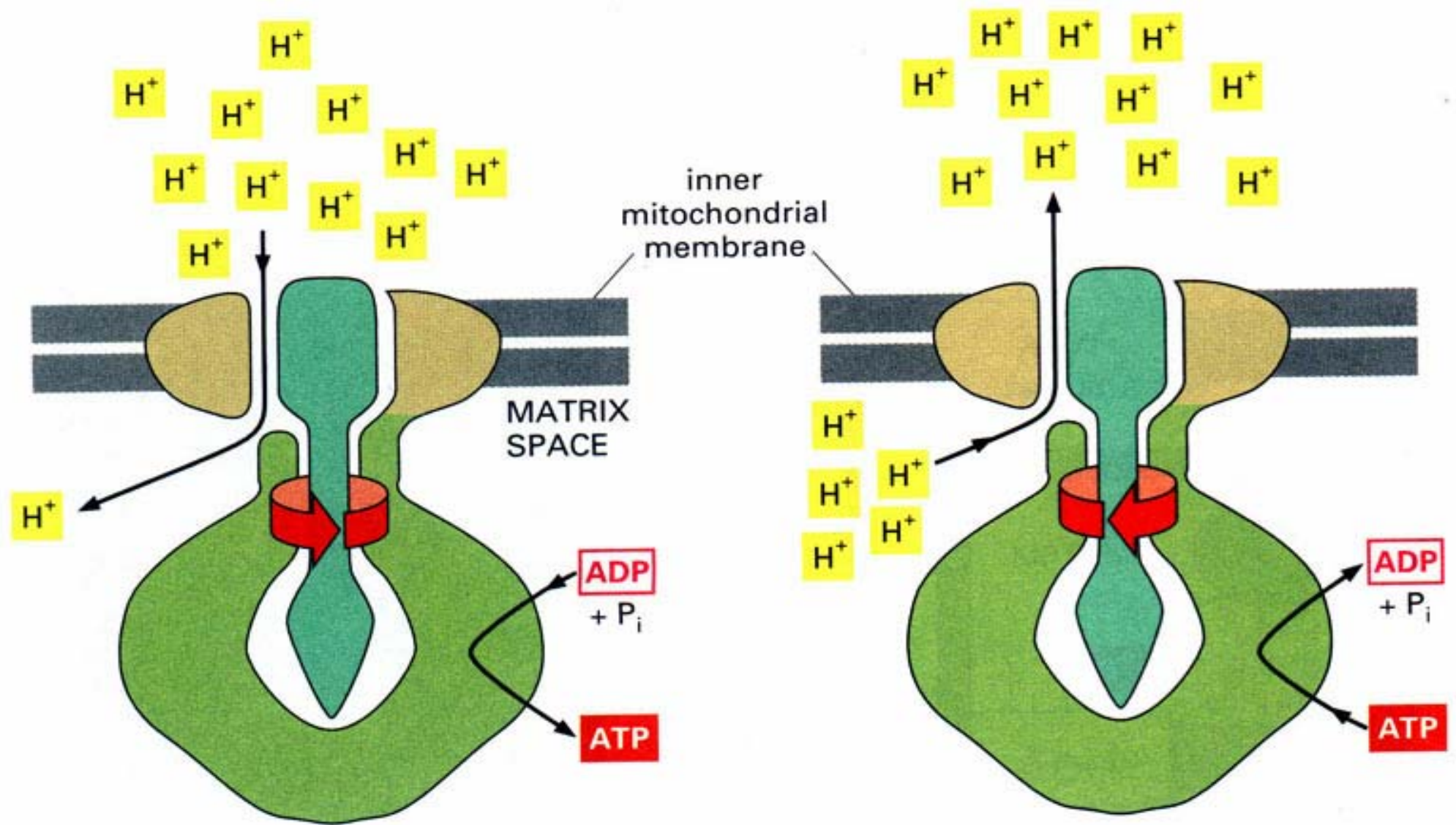
故F0-F1颗粒又称为ATP合酶(ATP synthase)

Structure of ATP synthase



◆ 结构

- Head section: 即 F_1 , 由5种多肽组成九聚体, 含有3个催化ATP合成的位点, 每个 β 亚基一个。
- Stalk section: 由 F_1 的 γ 亚基和 ϵ 亚基构成, γ 亚基穿过头部作为头部旋转的轴。
- Membrane section: 即 F_0 , 由3种不同的亚基组成的十五聚体(1a : 2b : 12c)。
 - c亚基:
 - b亚基:
 - a亚基:



(A)

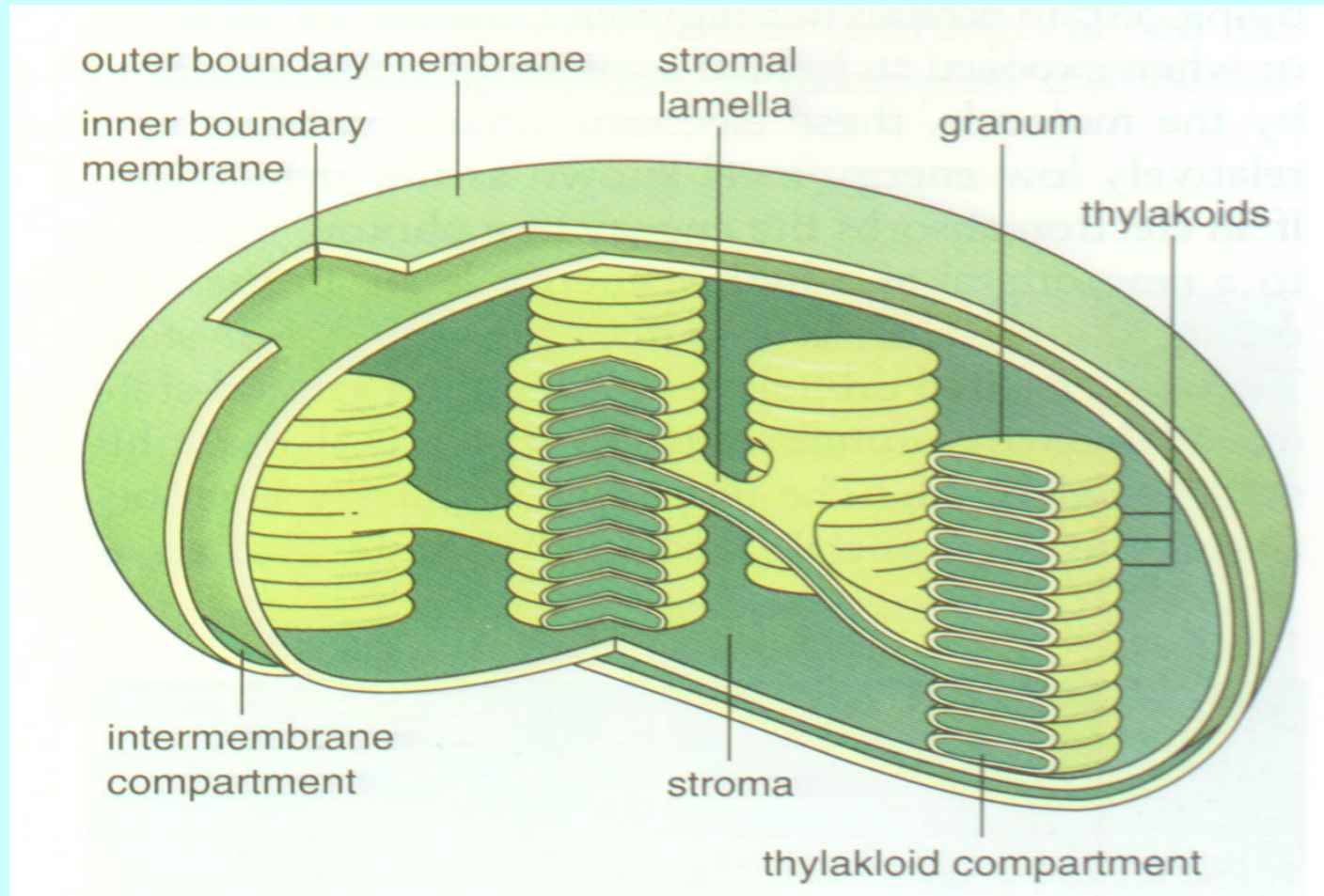
ATP SYNTHESIS

(B)

ATP HYDROLYSIS

§ 2 叶绿体与光合作用

➡叶绿体



➡ 重点、难点

1. 结构:

2. 功能: 光合作用

光反应: 光能 $\rightarrow$ 电能 $\rightarrow$ 化学能

暗反应: 活跃的的化学能 $\rightarrow$ 稳定的化学能

3. 完成功能的策略 (机制)

➡ 功能理解

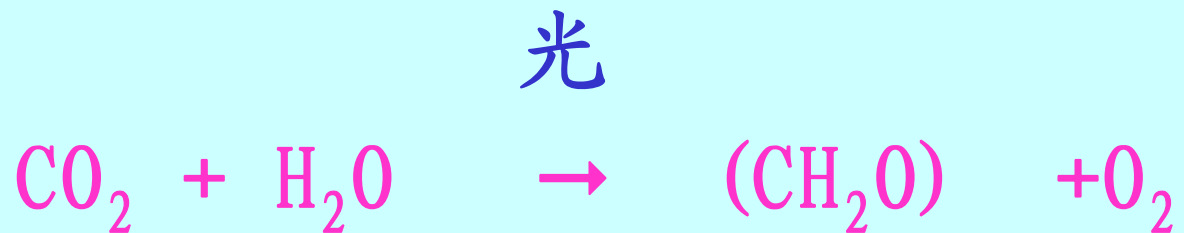
◆ 细胞生物学角度

- 各部分的结构与功能
- 整体功能
- 实现整体功能目标的策略

➡学习技巧 ?

◆一条主线:

光能→储备能(生物大分子)



◆一条主线:

光能 → 储备能 (生物大分子)

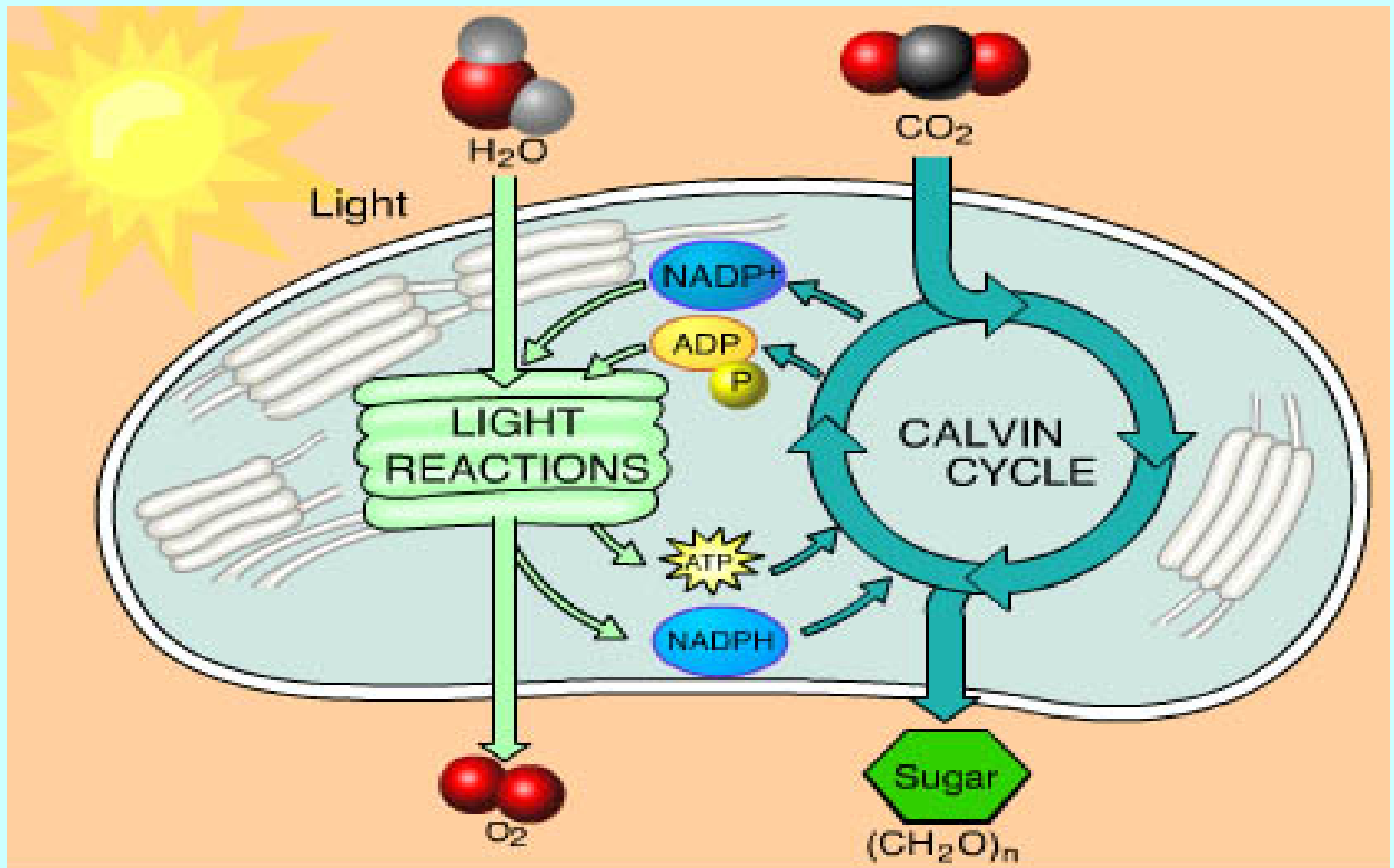
◆策略:

方式: 光反应, 暗反应;

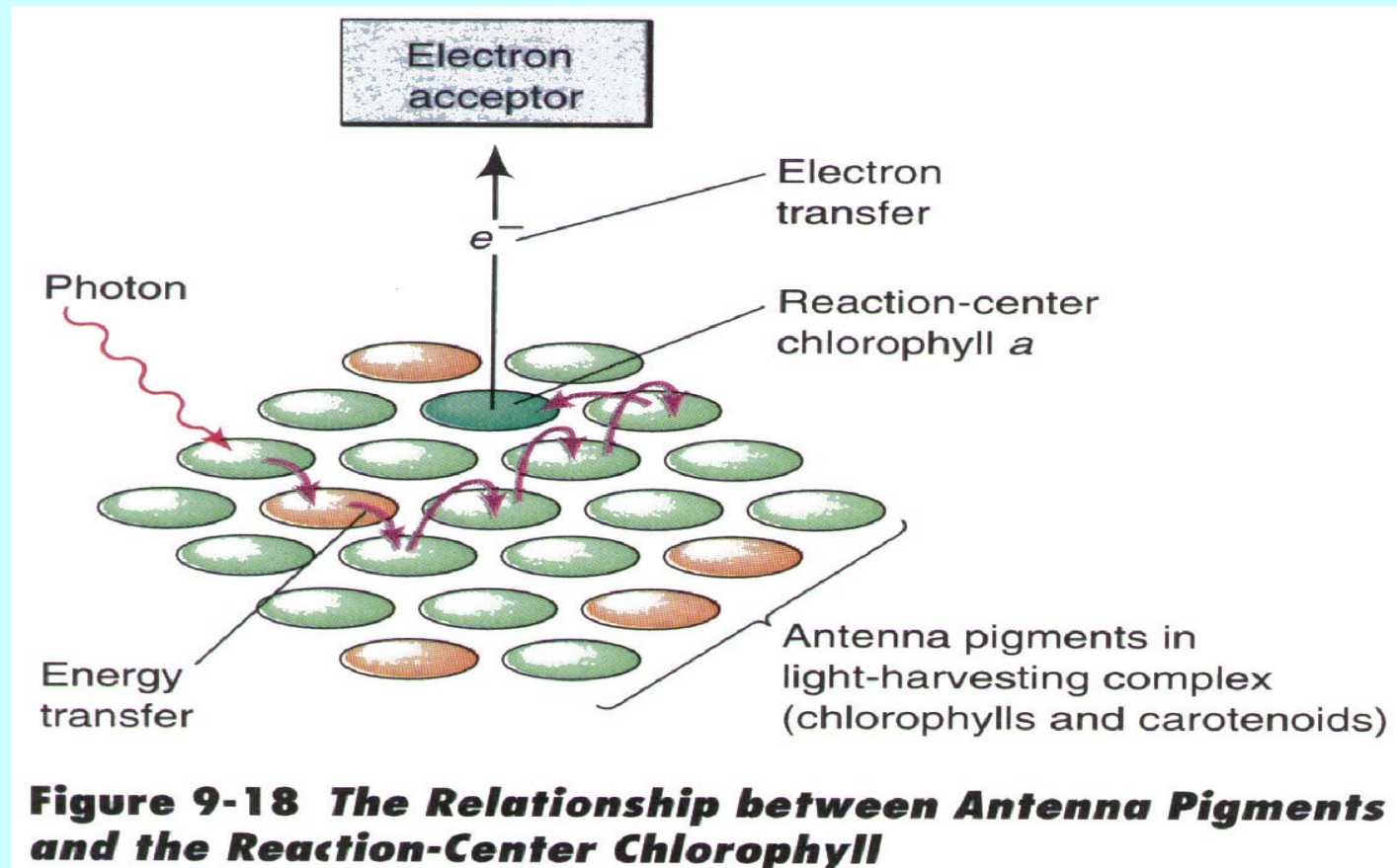
能量转移步骤: 光能 — — 电能

电能 — — 化学能

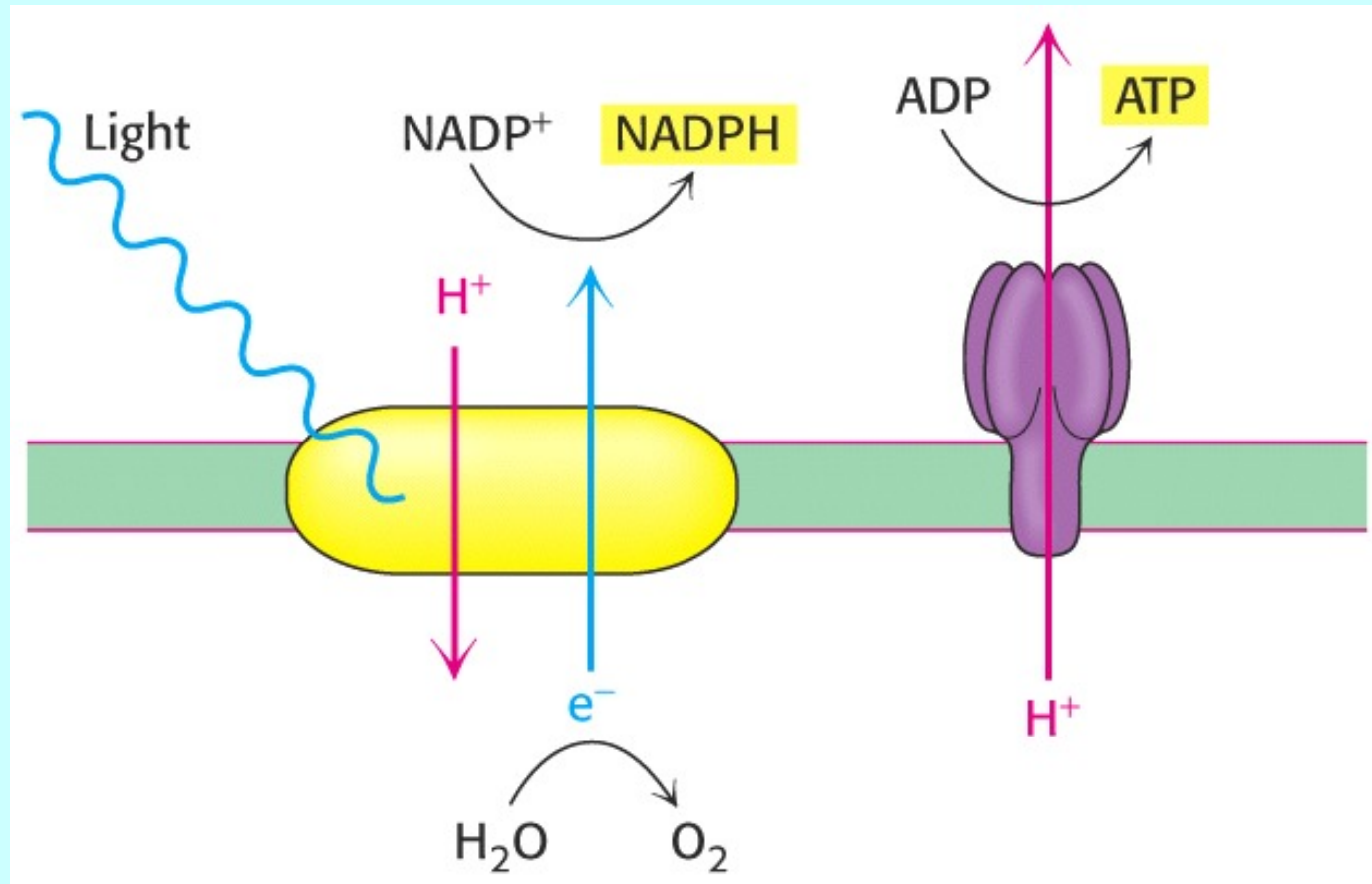
光合作用：两大战役

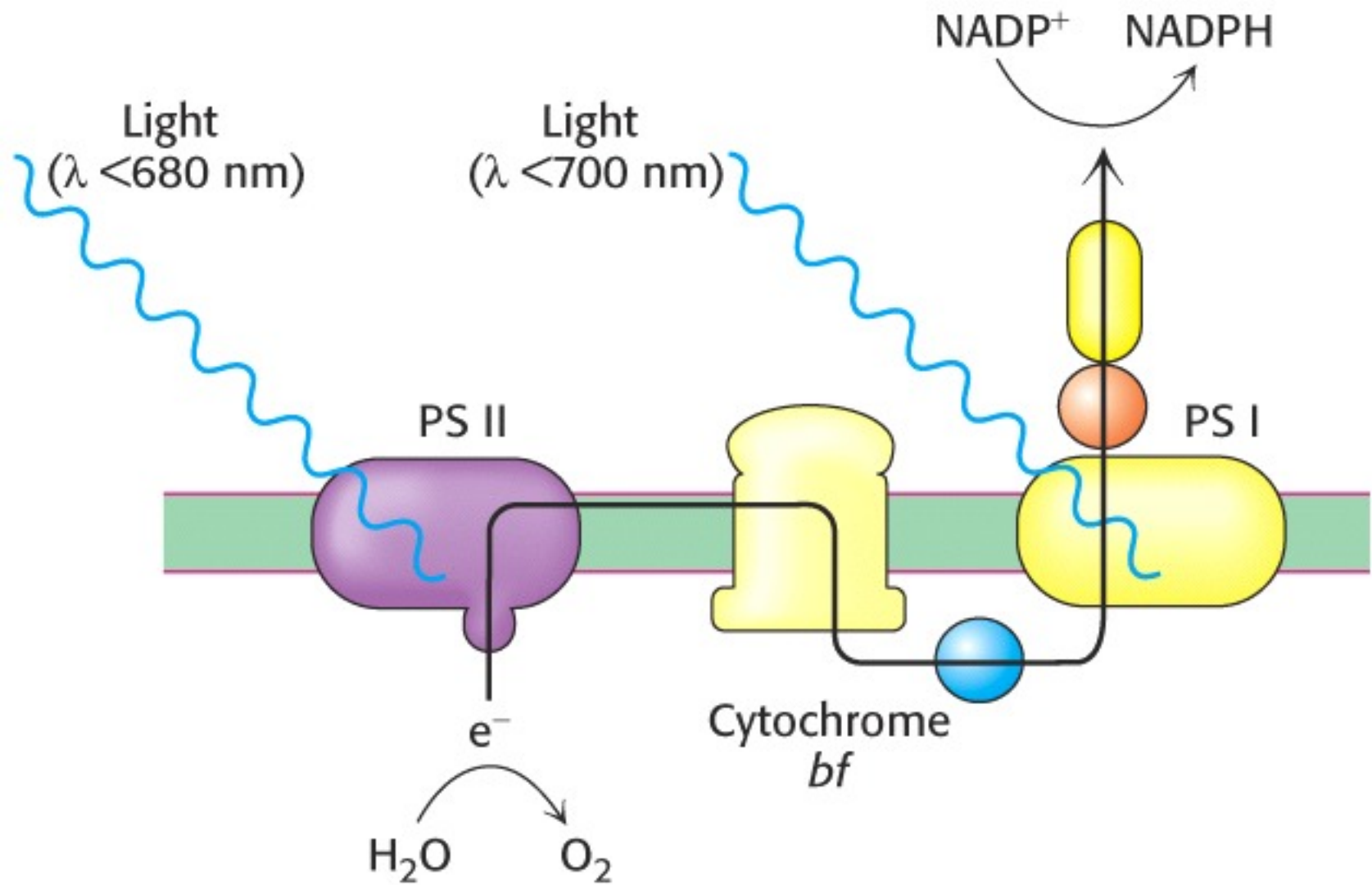


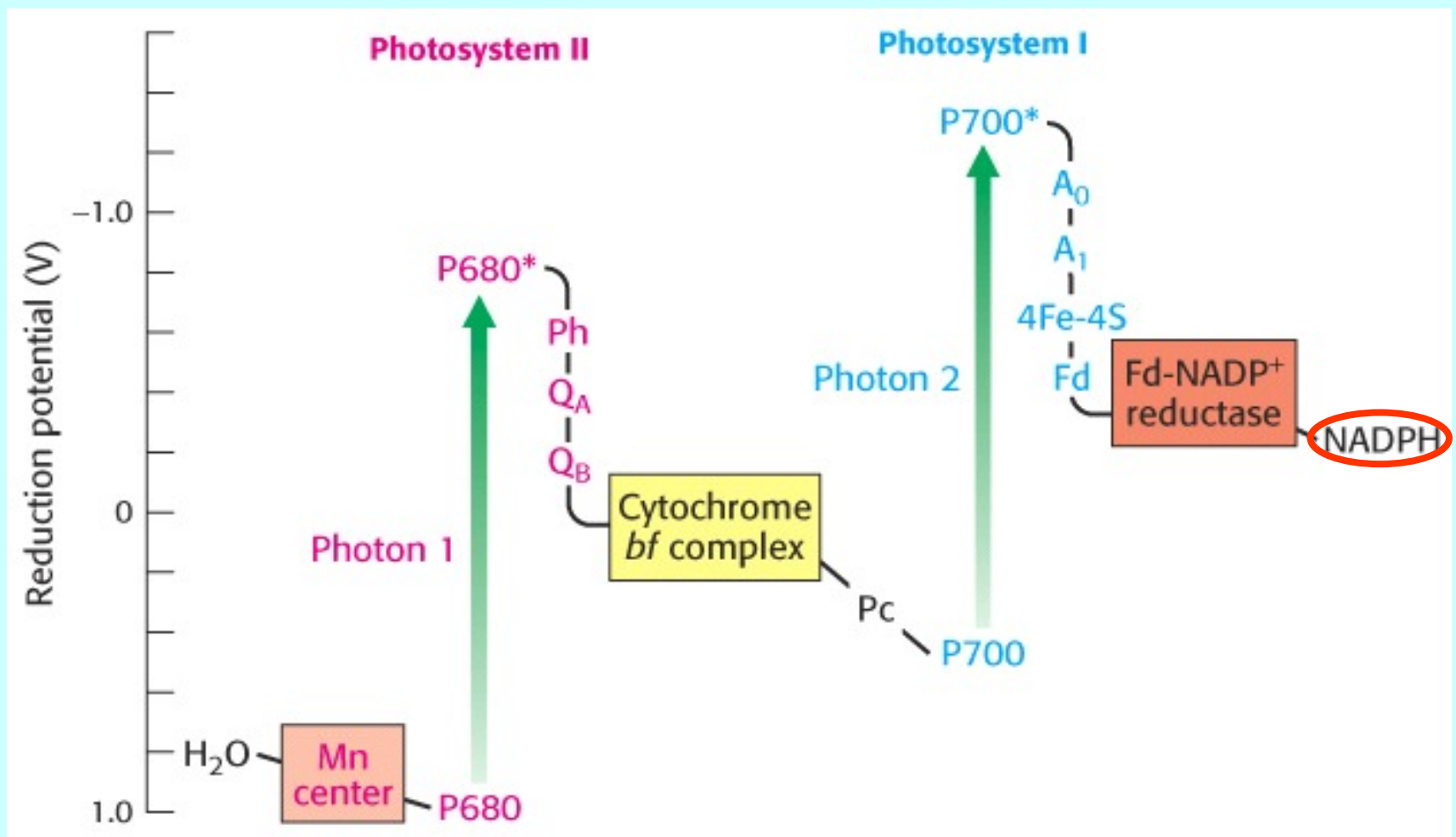
第一次转移：光能转变成电能

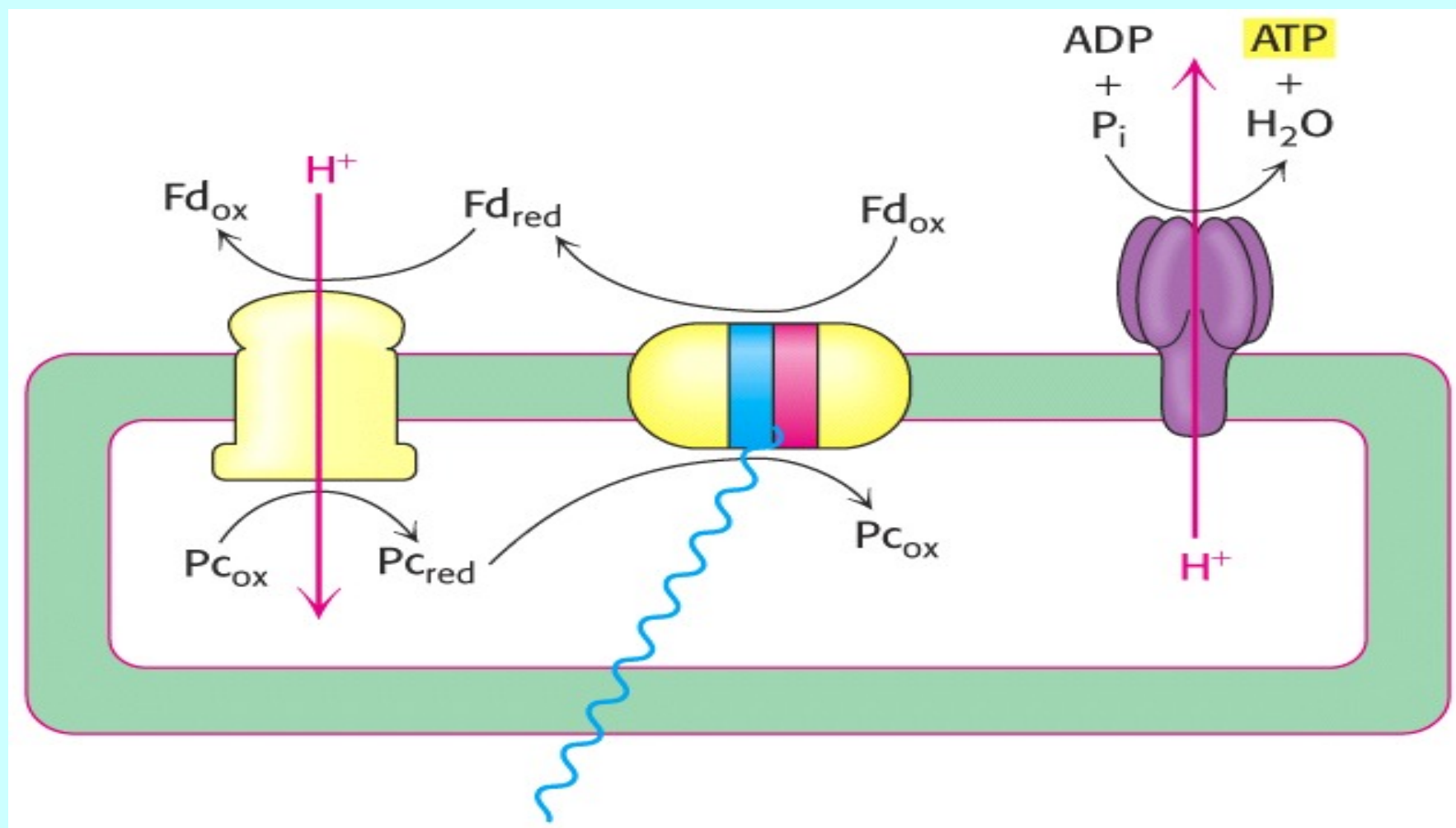


第二次转移：电能转变成化学能

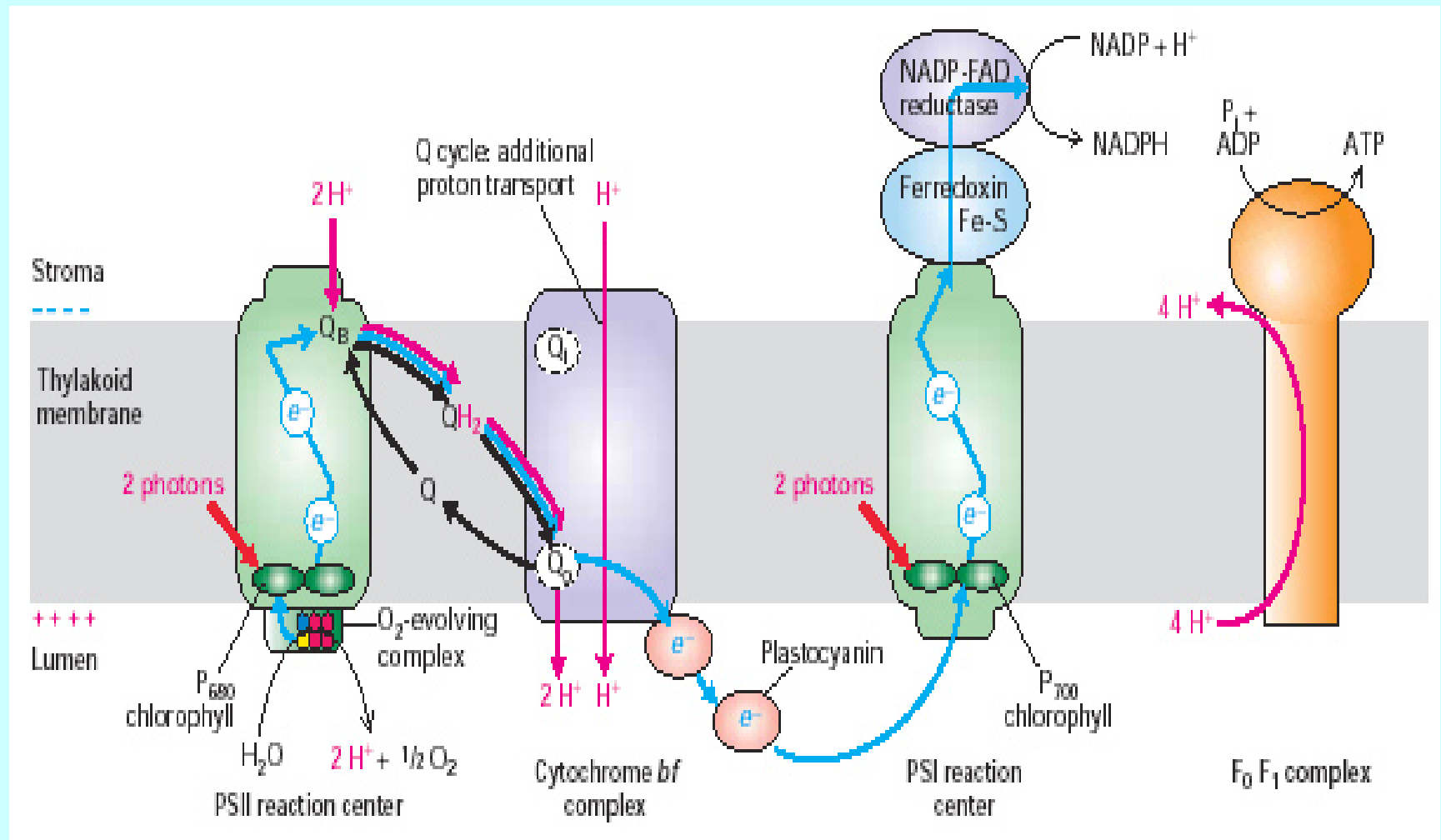




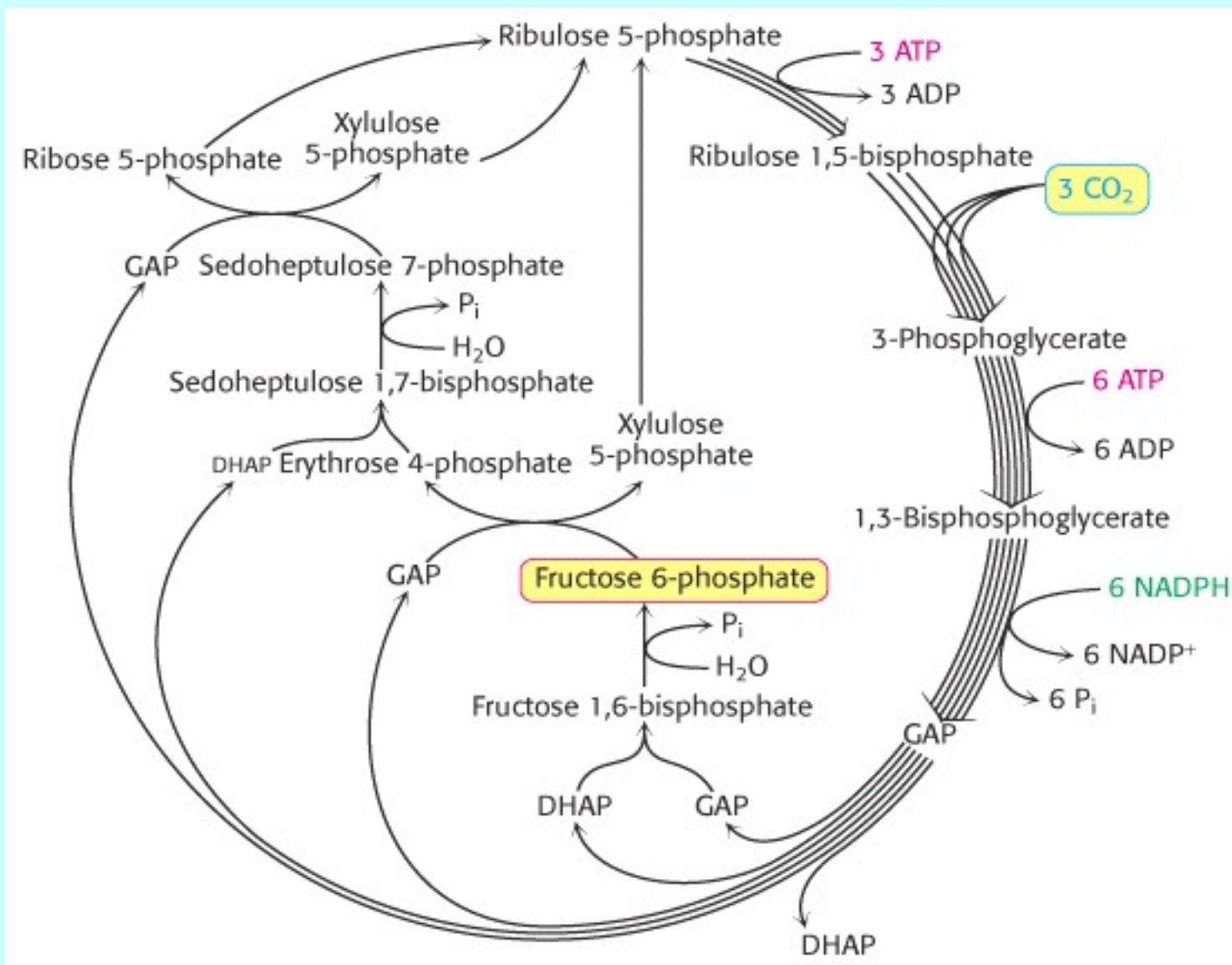




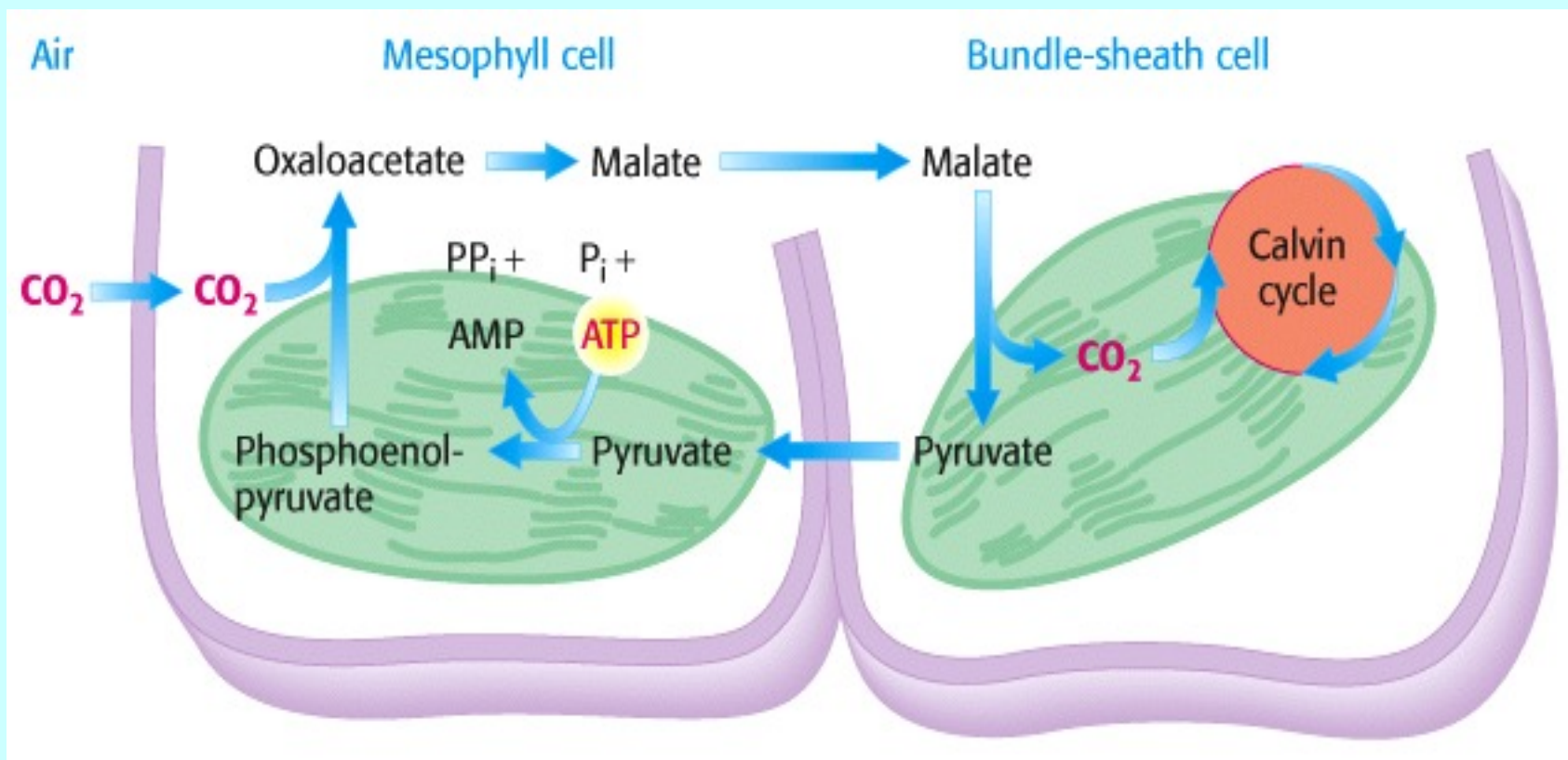
光能 → 电能 → 化能(势能)



C₃途径：卡尔文循环



C₄途径:



CAM植物:

