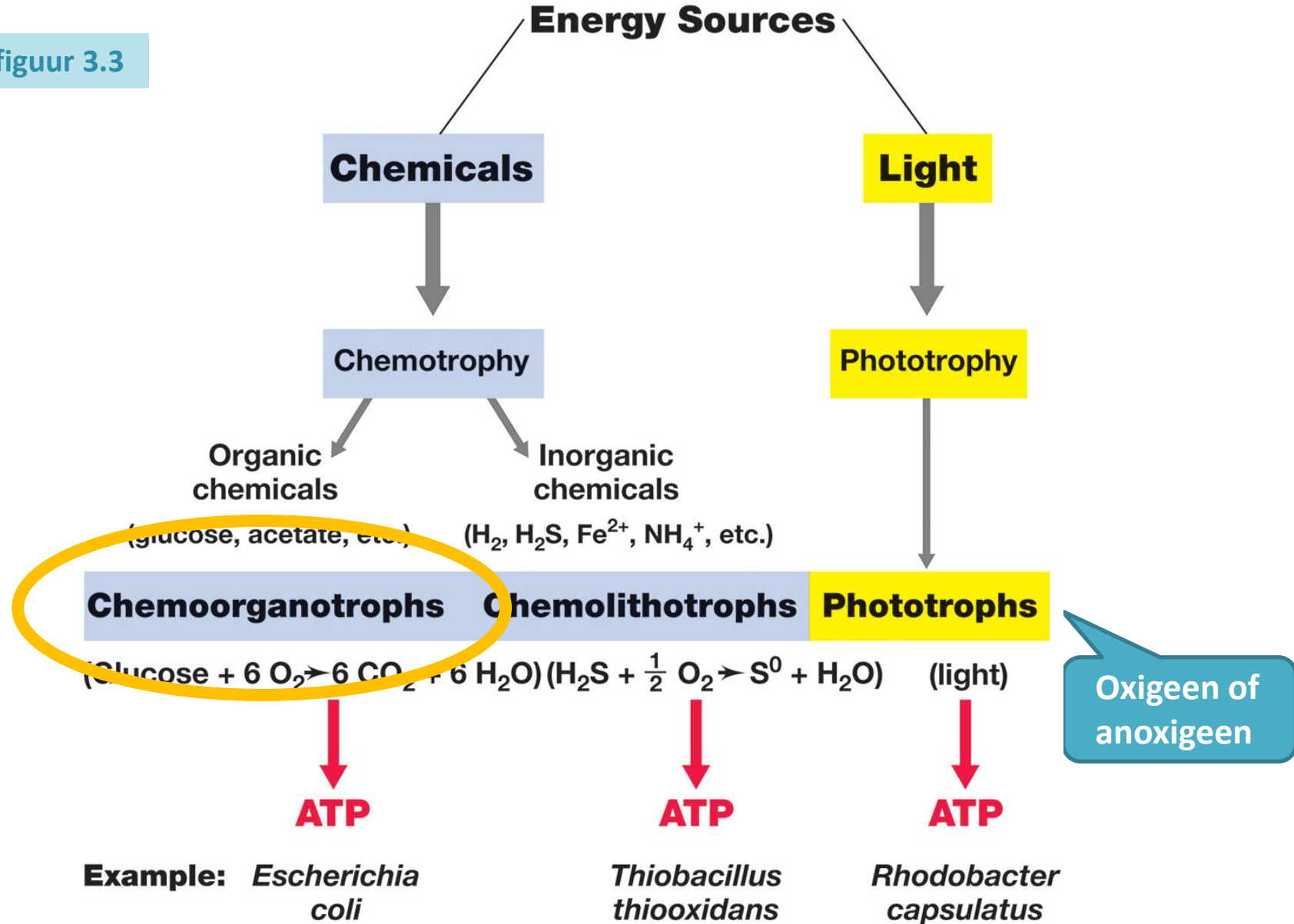


# Energiebron

16e: figuur 3.3



# Chemoorganotrofen

Organische stoffen als **energie**bron.

Twee belangrijke strategieën:

## Respiratie:

Aeroob of anaeroob katabolisme waarbij een elektrondonor wordt geoxideerd m.b.v.  $O_2$  of een andere stof als **terminale elektronenacceptor**.

## Fermentatie:

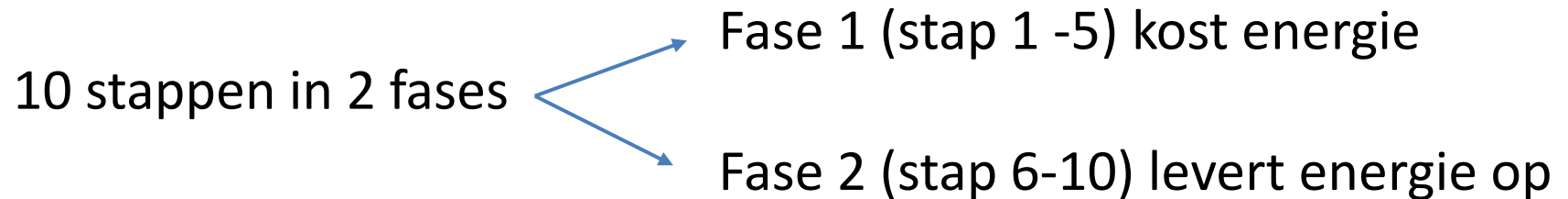
Vorm van anaeroob katabolisme waarbij een organische component zowel de elektrondonor als de elektronacceptor is.

**Beide strategieën beginnen met de glycolyse**

# Glycolyse

Ook wel: Emden-Meyerhof-Parnas pathway

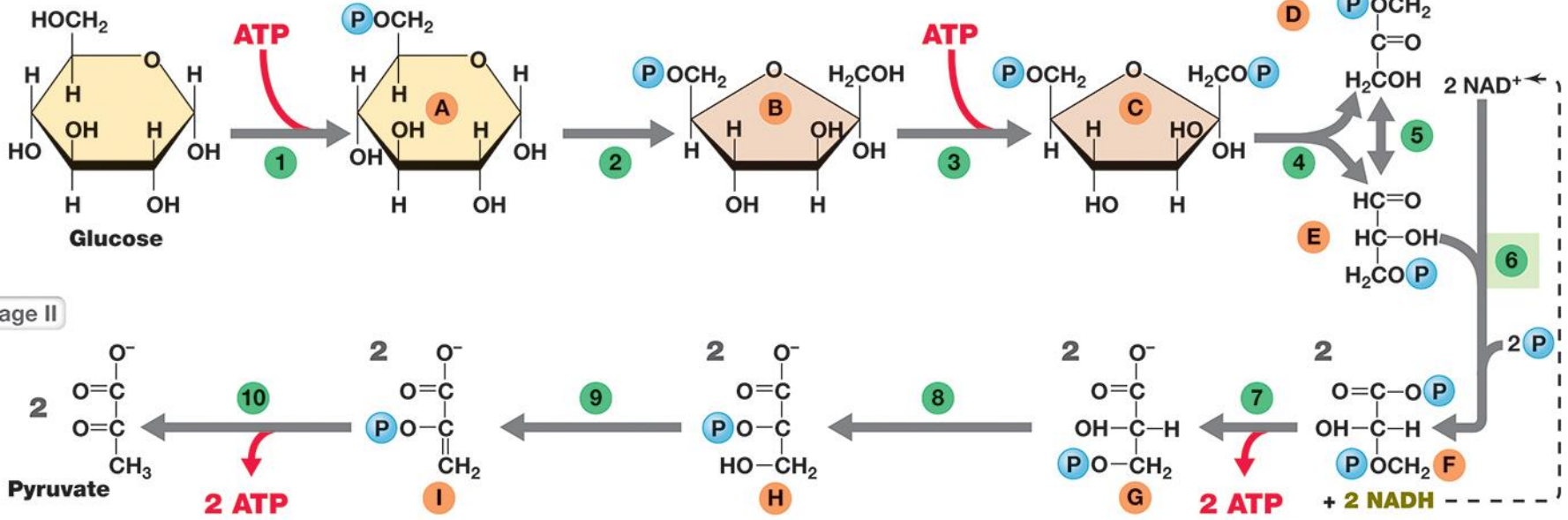
**Oxidatie** van 1 glucose tot 2 pyruvaat



# Glycolyse (begrijpen)

## GLYCOLYSIS

### Stage I



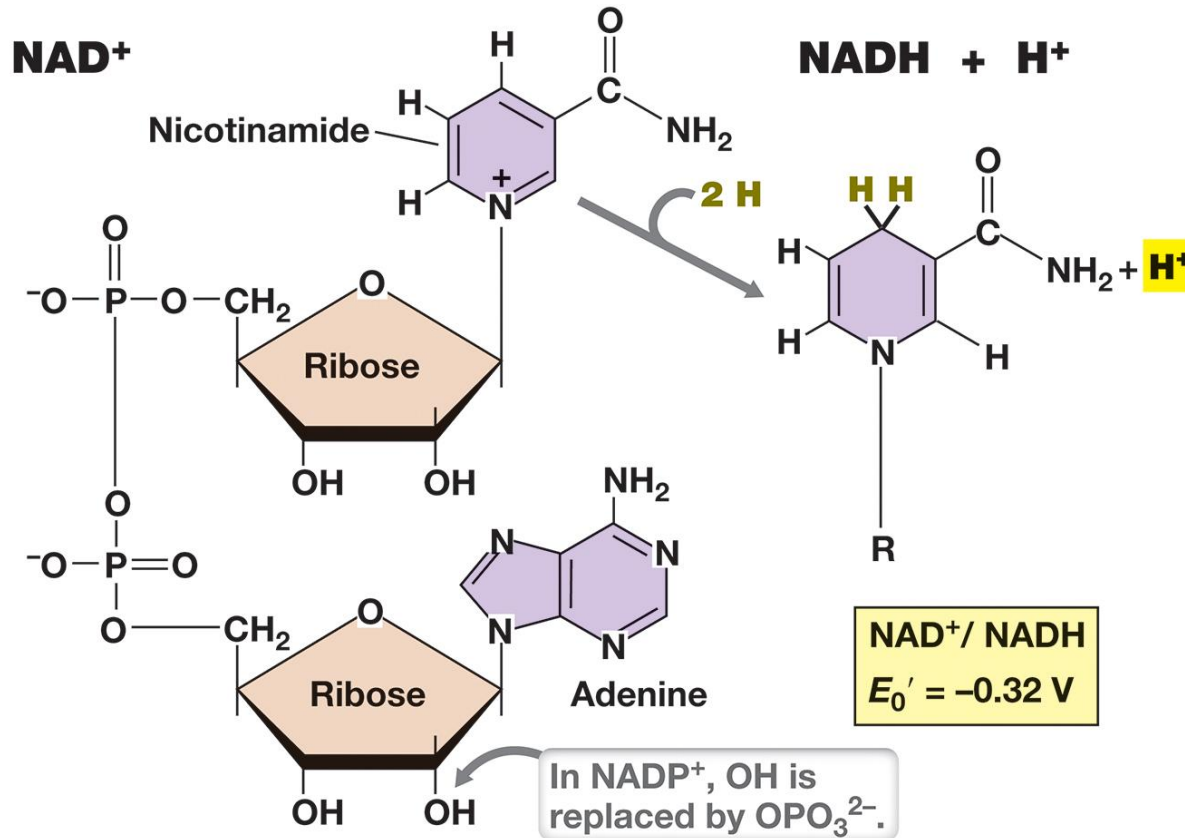
## Glyceraldehyde 3 – phosphate

1,3-  
biphosphoglycerate

## Waar vind(en) redoxreactie(s) plaats?

# Nicotinamide adenine dinucleotide (NAD<sup>+</sup>)

NAD<sup>+</sup> is een co-enzym en een electron carrier



NAD<sup>+</sup> kan 2 elektronen opnemen



# Opdracht

1. De halfreactie voor de reductie van  $\text{NAD}^+$  is:



Tijdens de omzetting van glucose ( $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ ) naar pyruvaat ( $\text{C}_3\text{H}_3\text{O}_3^-$ ) worden 2  $\text{NAD}^+$  moleculen gereduceerd.

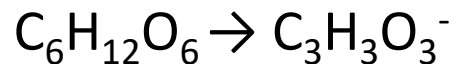
Laat m.b.v. halfreacties zien dat dit klopt.

# Opdracht - uitwerking

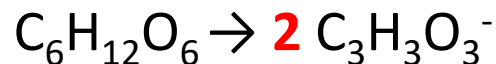
De reductie halfreactie is gegeven:  $\text{NAD}^+ + 2\text{e}^- + 2\text{H}^+ \rightarrow \text{NADH} + \text{H}^+$

De oxidatie halfreactie moet je zelf uitwerken:

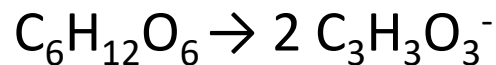
Dit weet je:



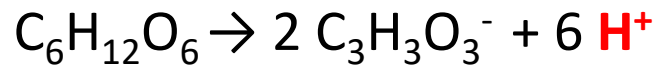
C kloppend maken:



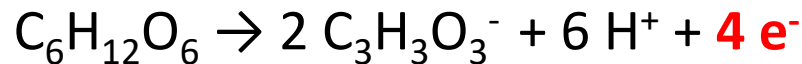
O kloppend maken:



H kloppend maken:



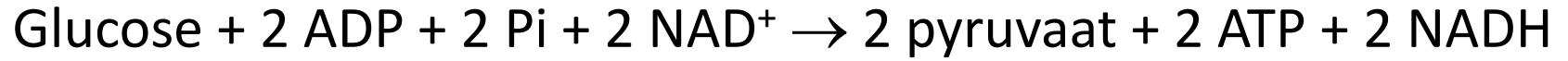
H kloppend maken:



4 elektronen, want er staan rechts van de pijl al 2 'minnetjes' (van 2 pyruvaat)

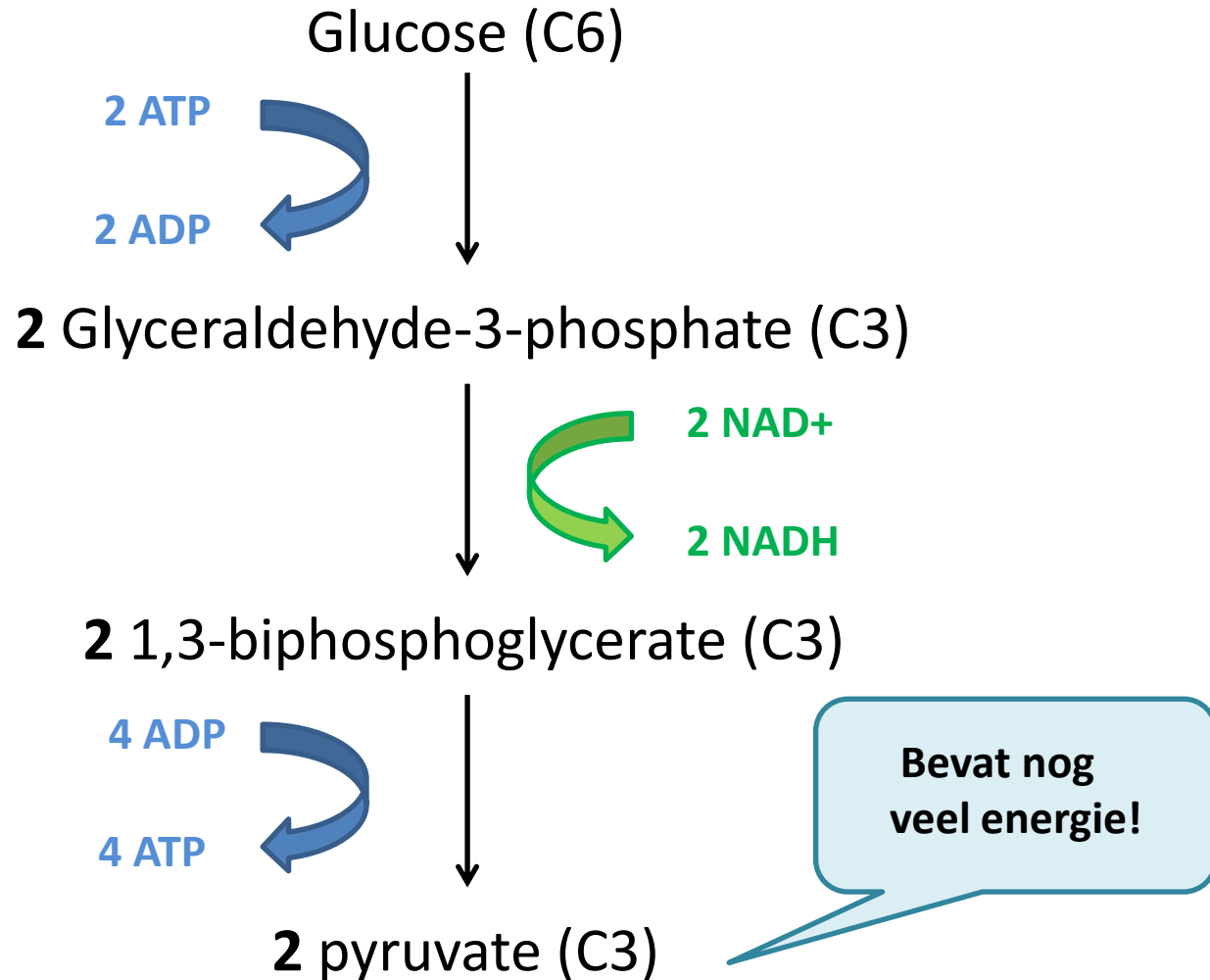
Tijdens de oxidatie komen 4 elektronen vrij. Voor één  $\text{NAD}^+$  reductie heb je 2 elektronen nodig (zie reductiereactie) Er kunnen tijdens de glycolyse dus inderdaad 2  $\text{NADH}$  gevormd worden.

# Glycolyse (netto)

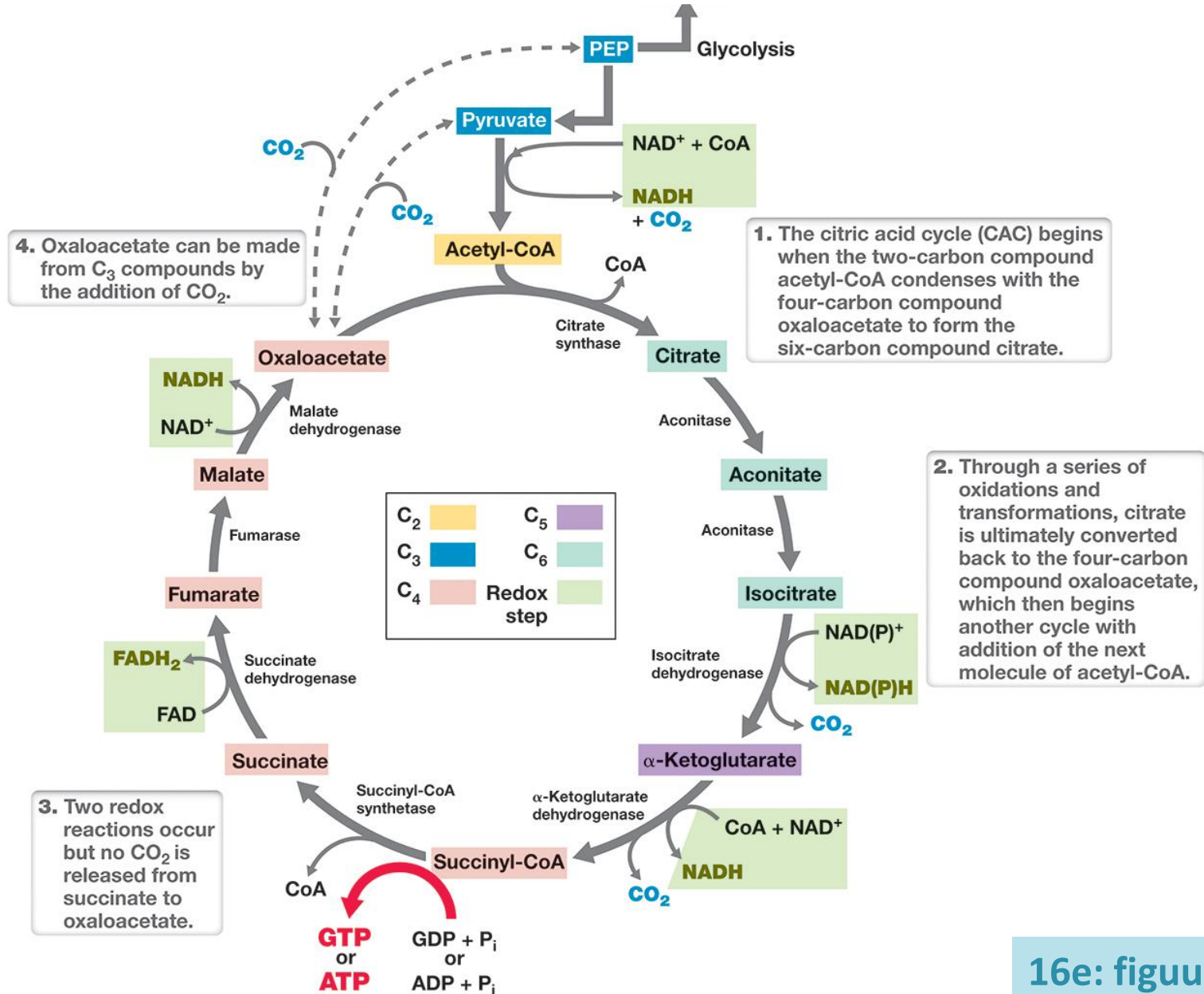




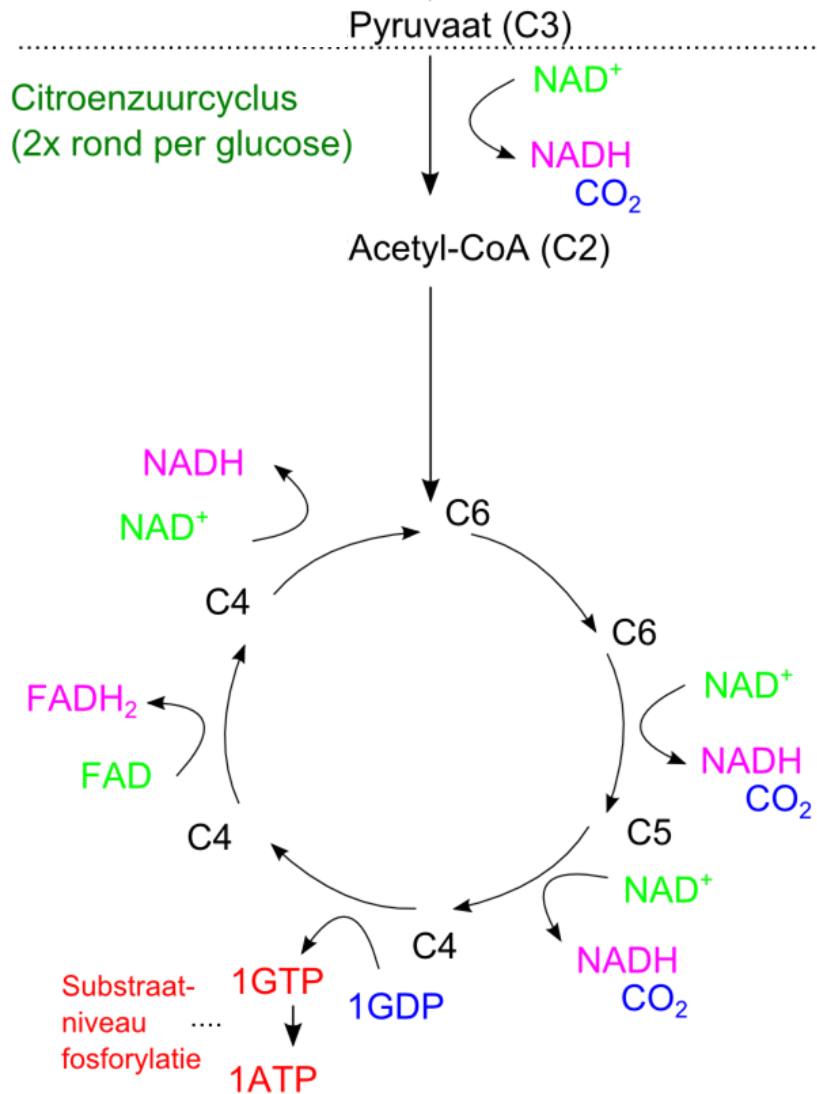
# Glycolyse (zo kennen)



# Citroenzuurcyclus (begrijpen)



# Citroenzuurcyclus (zo kennen)



Opbrengst per pyruvaat:

1 ATP, 4 NADH, 1 FADH<sub>2</sub>, 3 CO<sub>2</sub>

(LET OP: één glucose levert 2 pyruvaat in de glycolyse)

# Opdracht

Tijdens de citroenzuurcyclus wordt pyruvaat ( $\text{C}_3\text{H}_3\text{O}_3^-$ ) omgezet in  $\text{CO}_2$ .

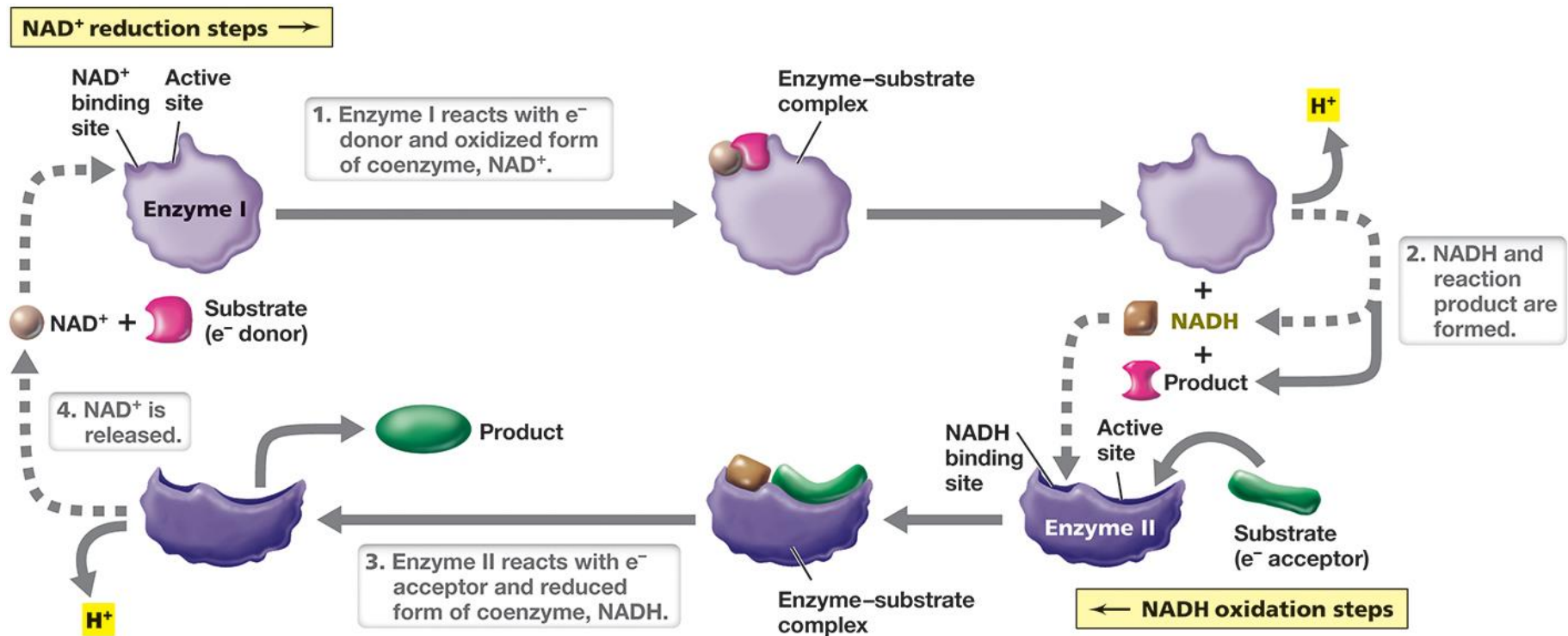
Hierbij wordt 4 NADH en 1  $\text{FADH}_2$  gevormd.

NAD<sup>+</sup> en FAD kunnen elk 2 elektronen opnemen.

Laat m.b.v. halfreacties zien dat dit klopt.

# NAD<sup>+</sup>/ NADH cycling

In de cel is maar een beperkte hoeveelheid NAD<sup>+</sup> aanwezig. NAD<sup>+</sup> moet daarom 'gerecycled' worden.



# NAD<sup>+</sup>/ NADH en FAD/FADH<sub>2</sub> cycling

Glycolyse: NAD<sup>+</sup> gereduceerd tot NADH.

Citroenzuurcyclus: NAD<sup>+</sup> gereduceerd tot NADH en FAD gereduceerd tot FADH<sub>2</sub>

Een cel moet die elektronen kwijt (en NAD<sup>+</sup> en FAD terugkrijgen)

Dat kan op twee manieren:

- **Elektronentransportketen** (ETK)
- Overbrengen op substraat (**fermentatie**, zie volgende les).

# Elektronentransportketen

Tijdens de glycolyse en de citroenzuurcyclus wordt  $\text{NAD}^+$  gereduceerd tot  $\text{NADH}$  en  $\text{FAD}$  tot  $\text{FADH}_2$

Een cel moet die elektronen kwijt (en  $\text{NAD}^+$  en  $\text{FAD}$  terugkrijgen)

Tijdens **aerobe ademhaling** worden de in  $\text{NADH}$  en  $\text{FADH}_2$  opgeslagen elektronen overgedragen op **zuurstof**.

Dit gaat in een aantal stappen, via de **elektronentransportketen (ETK)**

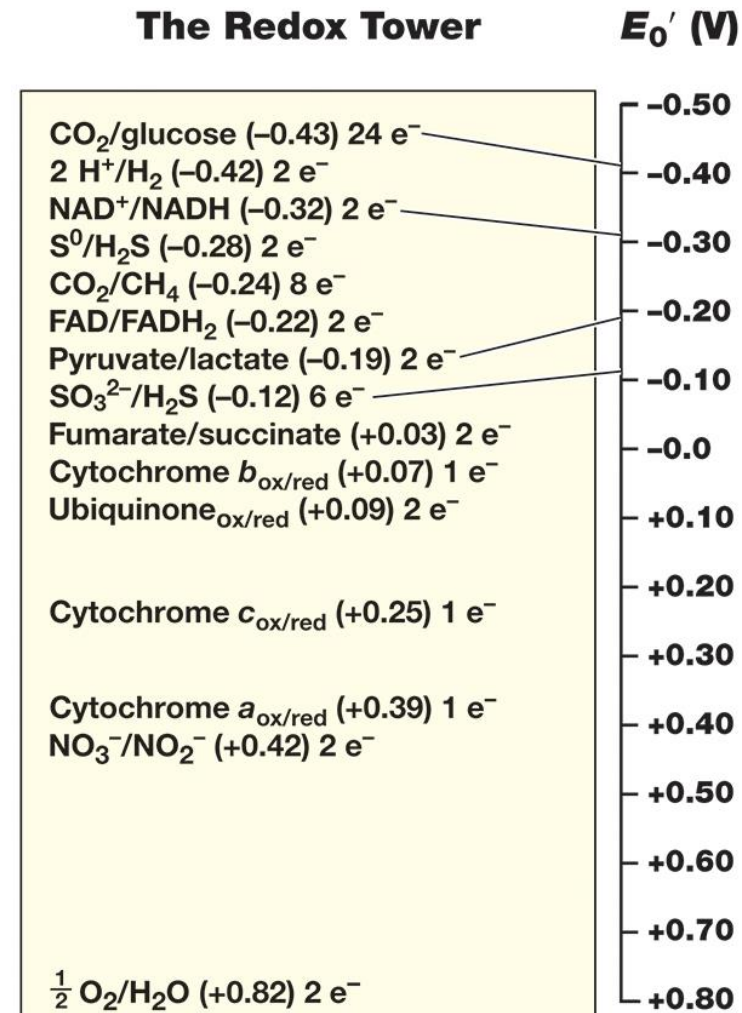
Zuurstof is een hele goede  
electronen acceptor (redoxpaar  
zuurstof/water heeft  $E_0'$  van  
+0.82 V)

Maar electronen worden niet  
direct op  $O_2$  overgedragen.

Waarom niet?

Voorbeeld  $H_2$  en  $O_2$

<https://www.youtube.com/watch?v=R0lWI-bnJVA>



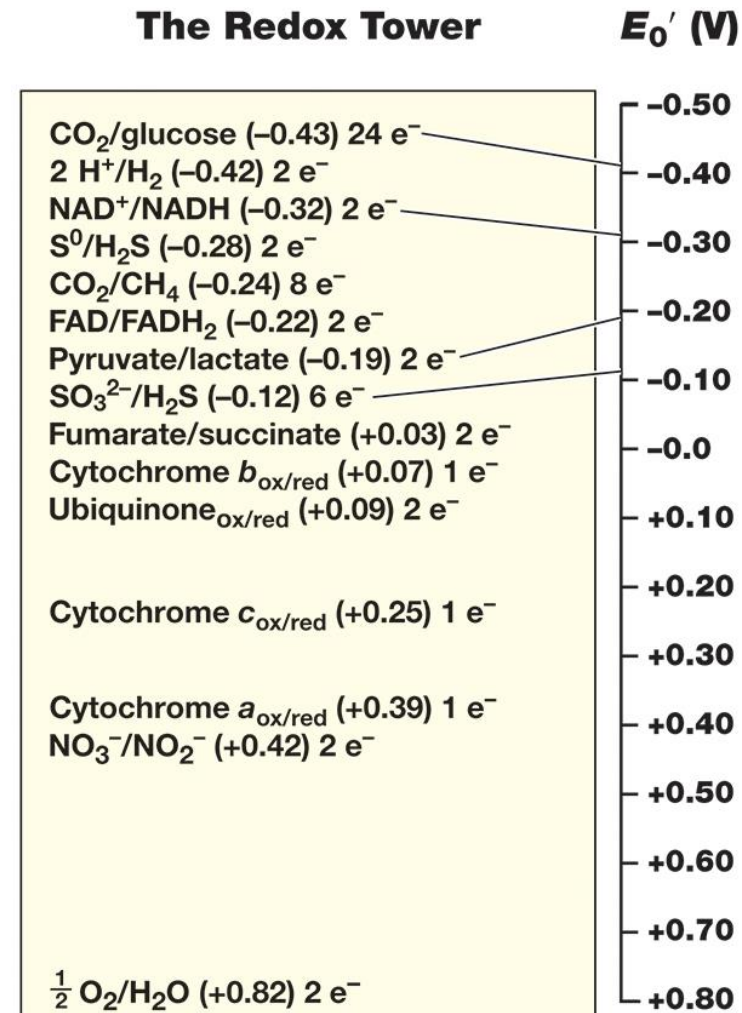


Zuurstof is een hele goede  
electronen acceptor  
(redoxpaar zuurstof/water  
heeft  $E_0'$  van +0.82 V)

Maar electronen worden niet  
direct op  $O_2$  overgedragen.

Van belang is om de e- rustig  
in energie af te laten nemen  
( $E_0'$  stapsgewijs omhoog)

Hiervoor worden elektronen-  
dragers gebruikt.



# Elektronentransportketen

Waar (bij bacteriën)?

# Elektronentransportketen

Bij bacteriën in het cytoplasmatisch membraan

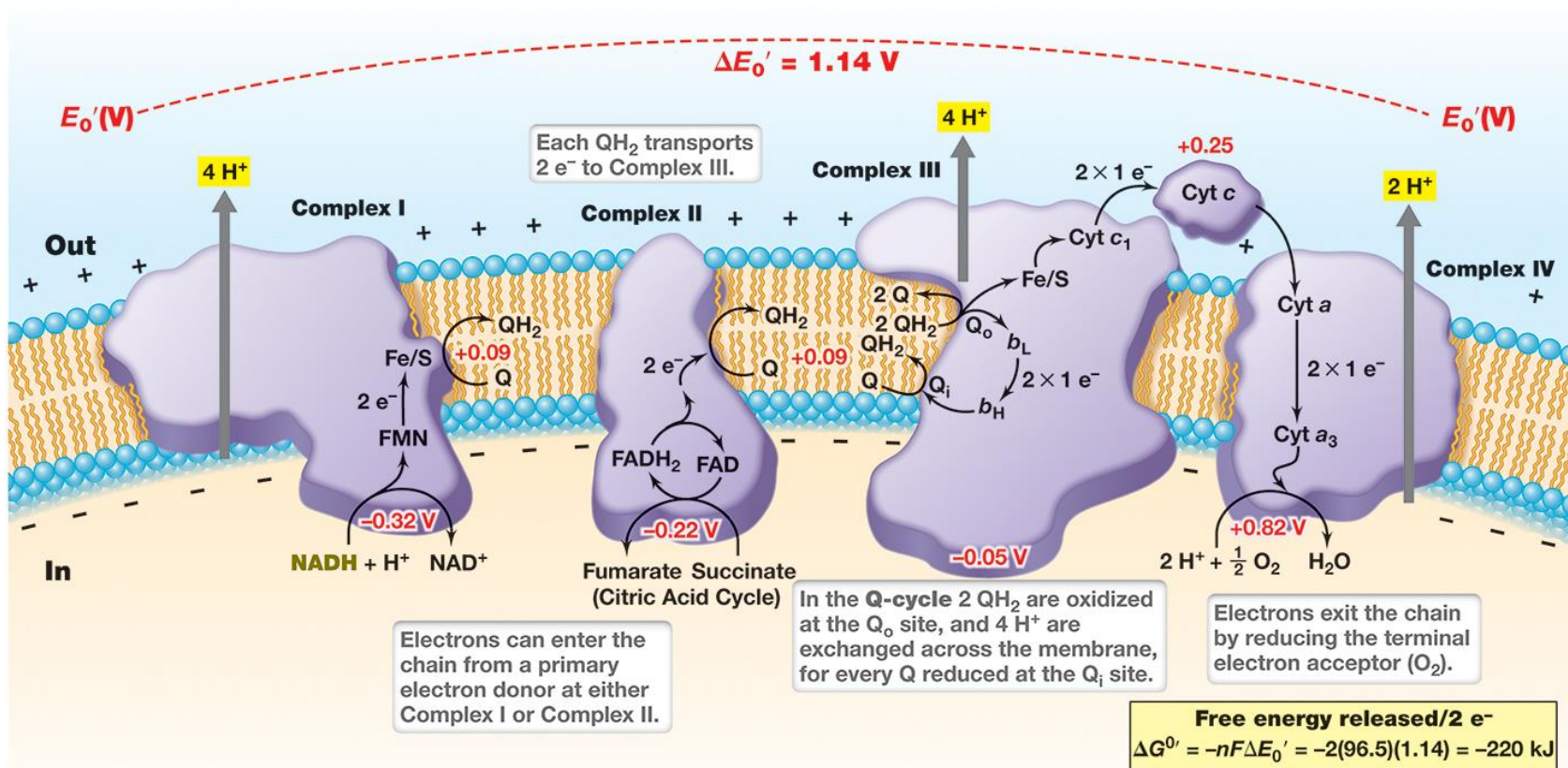
Verschillende oxidatie-reductie enzymen:

- NADH dehydrogenases
- flavoproteins
- iron-sulfur proteins
- cytochromes

En non-protein electron carriers: quinones

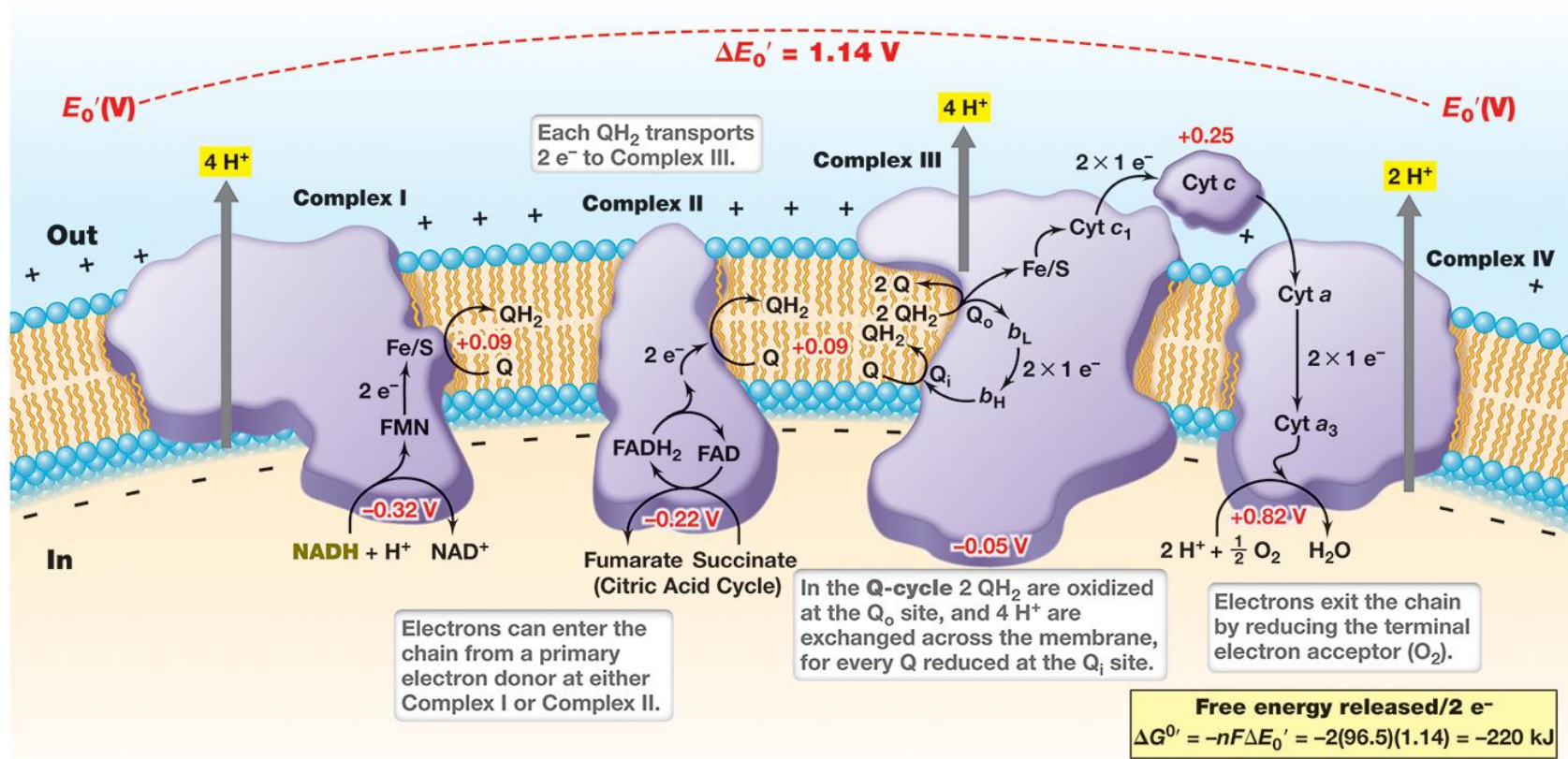
# Elektronentransportketen

Elektronen stap voor stap van NADH (of FADH<sub>2</sub>) naar de terminale elektronenacceptor (O<sub>2</sub> in dit figuur). Bij elke stap gaat E<sub>0</sub>' omhoog.



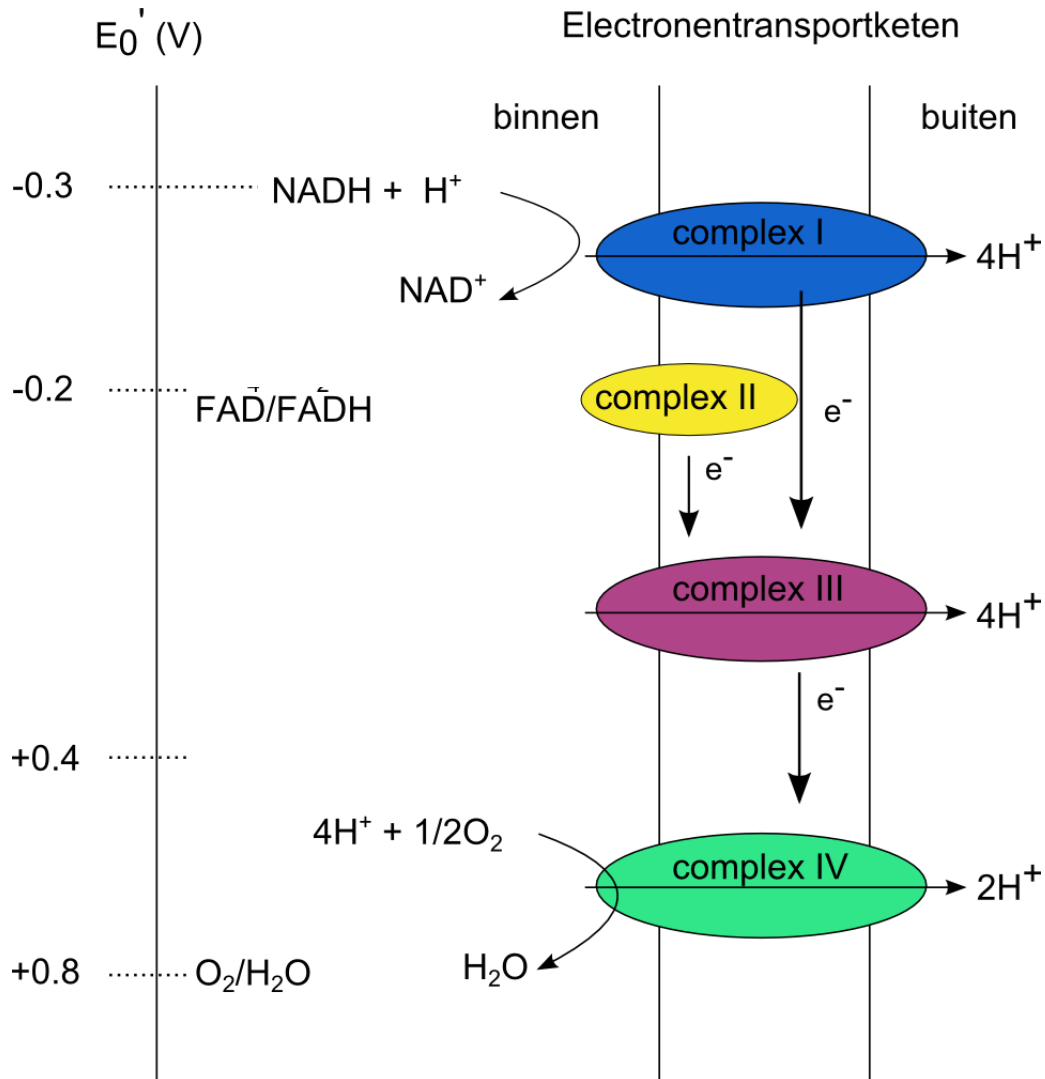
# Opbouw proton motive force

Tijdens de elektronenoverdracht worden protonen over het membraan getransporteerd.



H<sup>+</sup> afkomstig van: NADH/ FADH (uiteindelijk het substraat) en de dissociatie van water

# ETK: vereenvoudigde weergave



2 elektronen van 1 NADH  
naar  $O_2 \sim 10$  protonen

2 elektronen van 1 FADH:  
naar  $O_2 \sim 6$  protonen

# Waarom is protonentransport belangrijk?

Leidt tot een proton motive force (pmf)

Proton motive force:  $\Delta\text{lading} + \Delta\text{pH}$

Pmf kan worden gebruikt voor synthese ATP en andere processen



# ATP synthase (ATPase)

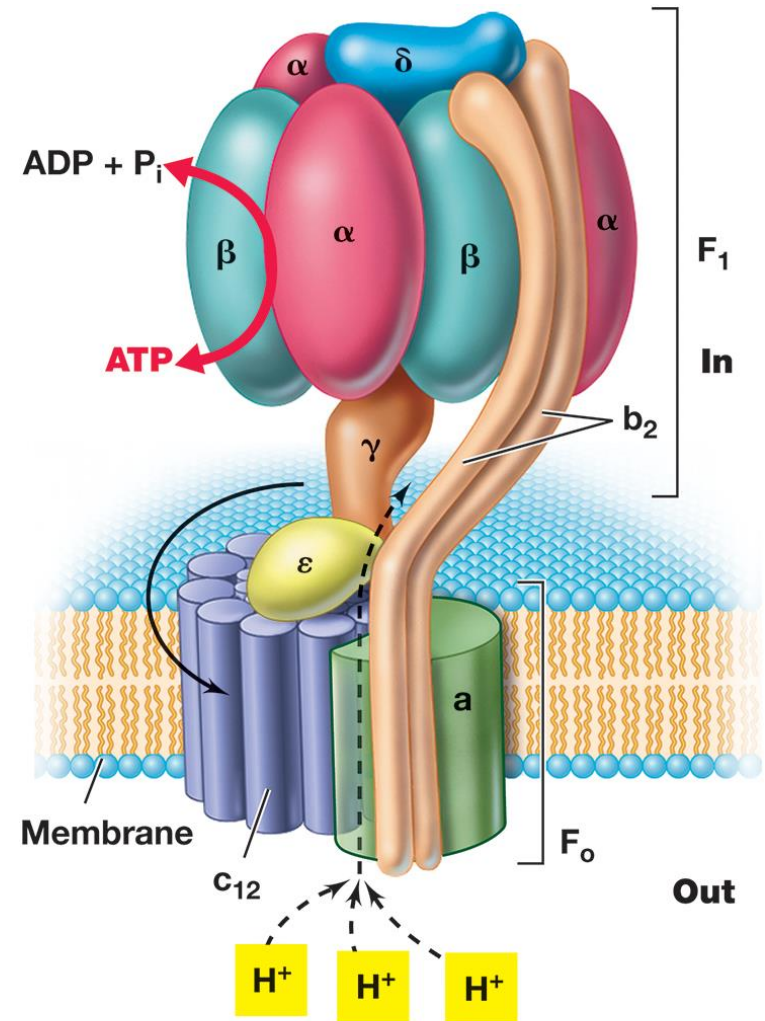
Gebruikt de energie van de  $H^+$  gradiënt om ATP te genereren ('omgekeerde pomp')

$H^+$  gaat via kanaal terug naar cytoplasma

Tijdens de passage van  $H^+$  wordt ATP gemaakt:  $ADP + P_i \rightarrow ATP$

**$\sim 4 H^+$  voor 1 ATP**

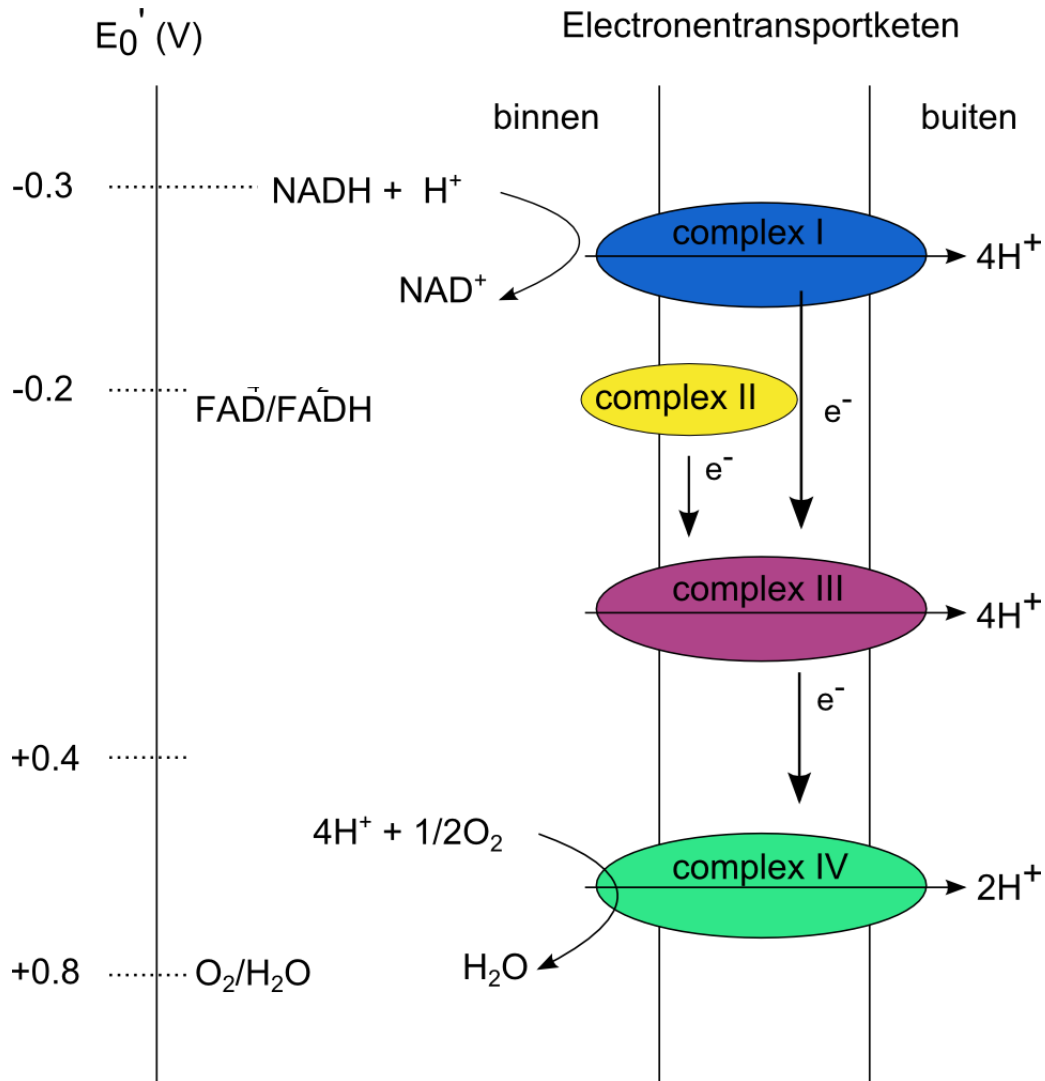
Let op: deze waarde onthouden voor het tentamen (Brock geeft een andere waarde)



(a)



# Terug naar ETK



2 electronen van 1 NADH  
naar  $O_2 \sim 10$  protonen

2 electronen van 1 FADH:  
naar  $O_2 \sim 6$  protonen

Alle figuren in deze PowerPoint zijn eigen werk of afkomstig uit Brock Biology of Microorganisms (16th edition, Pearson) tenzij anders vermeld.