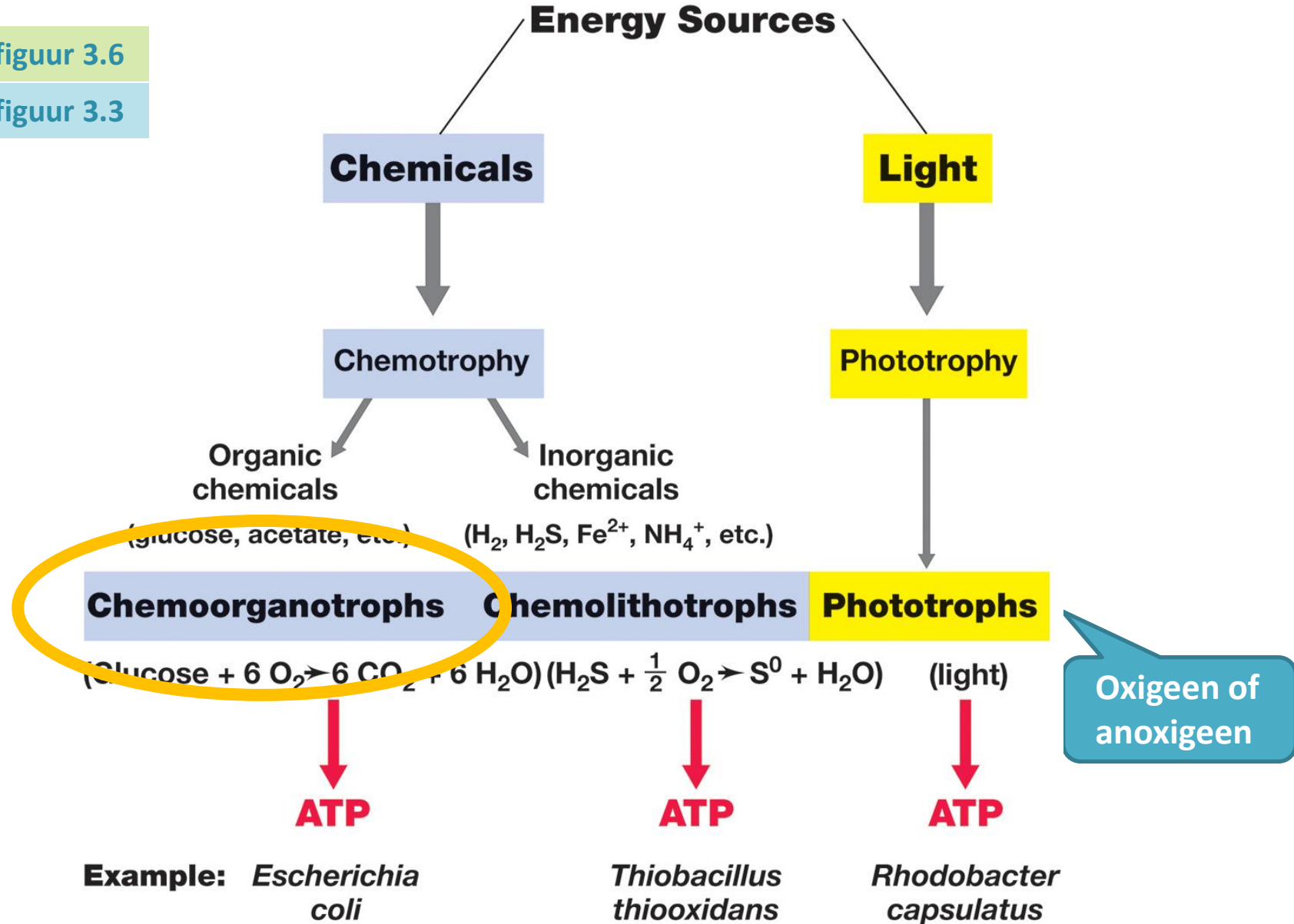
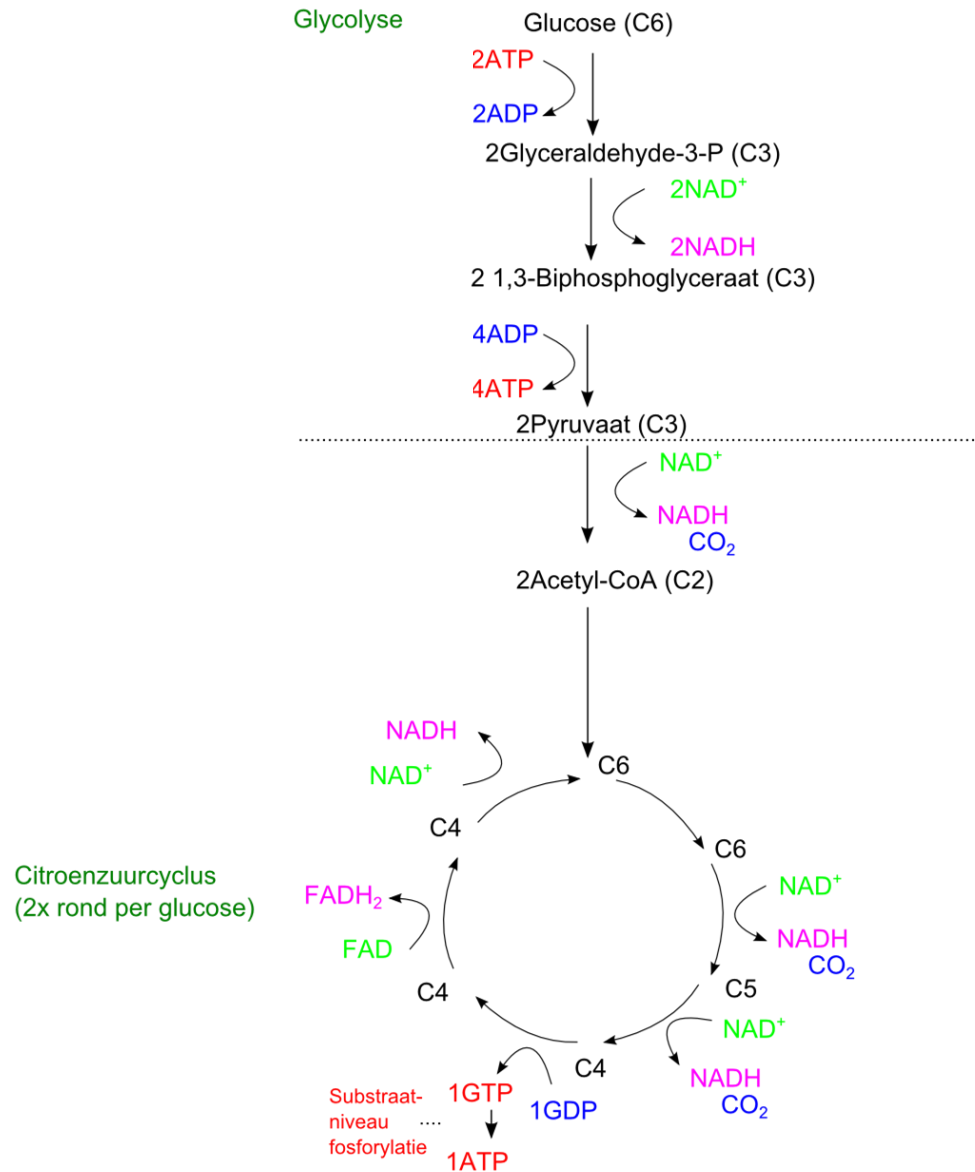


15e: figuur 3.6

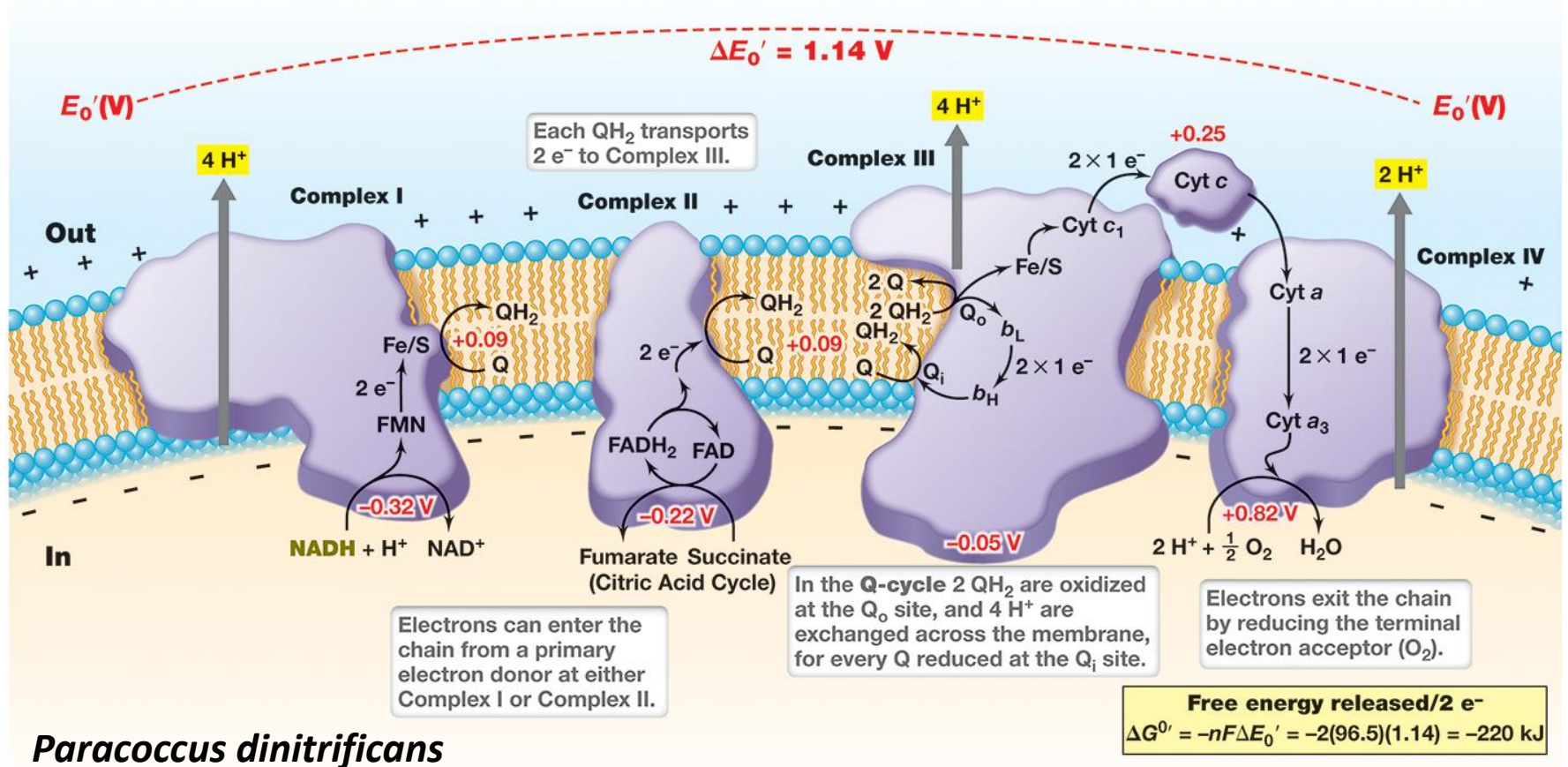
16e: figuur 3.3



# Glycolyse en citroenzuurcyclus



# Elektronentransportketen



# ATP synthase (ATPase)

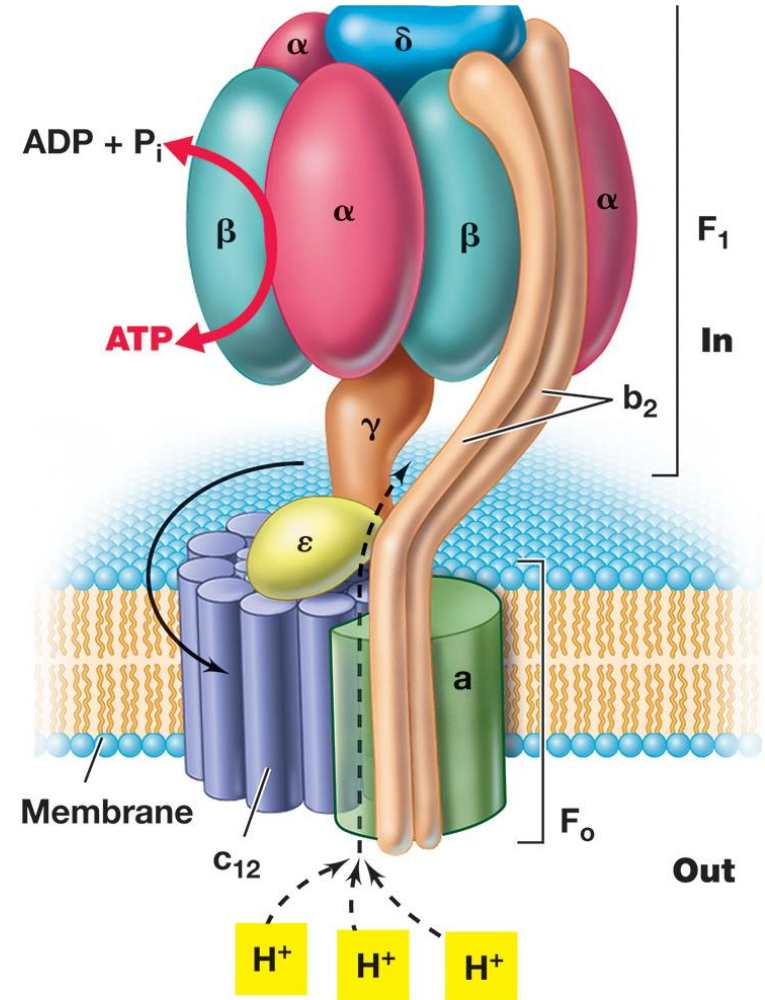
Gebruikt de energie van de  $H^+$  gradiënt om ATP te genereren ('omgekeerde pomp')

$H^+$  gaat via kanaal terug naar cytoplasma

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

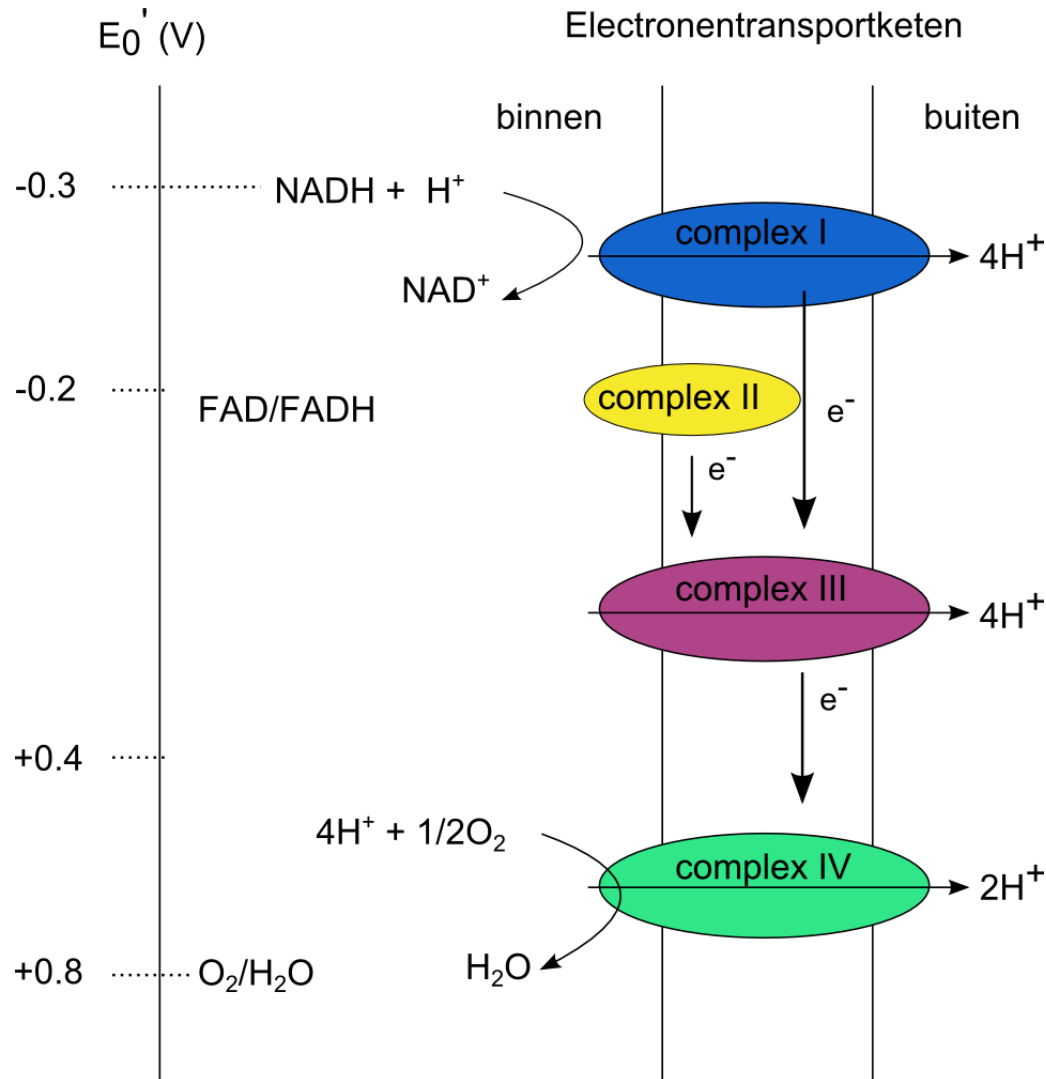
**$\sim 4 H^+$  voor 1 ATP**

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



(a)

# Oefening ETK



**Hoeveel ATP levert  
1 glucose molecuul  
op met aerobe  
ademhaling?**

**Geef een  
overzichtelijke  
berekening.**

# Uitwerking oefening

Hoeveel ATP levert 1 glucosemolecuul op met nitraat ademhaling?

## Stap 1: opbrengsten glycolyse en c.z.c:

Glycolyse: 2 ATP + 2 NADH

Citroenzuurcyclus: 2 ATP + 8 NADH + 2 FADH<sub>2</sub>

## Stap 2: hoeveel protonen over het membraan?

Zie figuur ETK:

1 NADH: 10 protonen

1 FADH<sub>2</sub>: 6 protonen

Dus totaal:  $10 \times 10 + 2 \times 6 = 112$  protonen

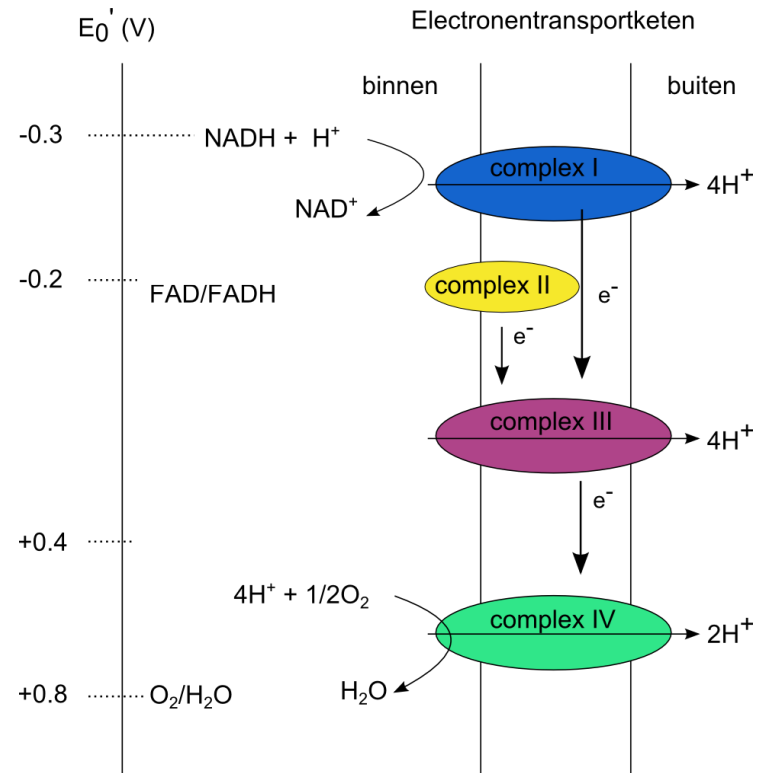
## Stap 3: Hoeveel ATP kan ATP synthase maken?

Per ATP heeft het ATP synthase je 4 protonen nodig.

Het ATP synthase maakt dus:  $112/4 = 28$  ATP

## Stap 5: ATP totaal

$28 + 4 = 32$  ATP **bij aerobe ademhaling!** (en de ETK uit het figuur)



# Ademhaling bij micro-organismen

## Aeroob:

zuurstof als terminale elektronenacceptor

## Anaeroob:

andere stof als terminale elektronenacceptor

b.v. nitraat, ferri-ijzer ( $\text{Fe}^{3+}$ ), sulfaat ( $\text{SO}_4^{2-}$ ),  $\text{CO}_2$ ,  
organische moleculen

# Oefening

Wanneer er zuurstof aanwezig is, zet *Escherichia coli* glucose om in  $\text{CO}_2$ . Zuurstof wordt hierbij gereduceerd tot water.

- Zoek de oxidatie en reductie halfreacties op in je aantekeningen.
- Hoeveel elektronen worden er overgedragen?

Wanneer er geen zuurstof aanwezig is, kan *Escherichia coli* m.b.v. nitraat glucose omzetten in  $\text{CO}_2$ . Nitraat ( $\text{NO}_3^-$ ) wordt hierbij gereduceerd tot nitriet ( $\text{NO}_2^-$ ).

- Geef de oxidatie halfreactie
- Geef de reductie halfreactie
- Hoeveel elektronen worden er overgedragen?



In beide gevallen worden er 24 elektronen overgedragen.  
Toch zal de zuurstofreducerende bacterie meer ATP genereren dan de nitraatreducerende bacterie.

Waarom?

# Aerobe ademhaling - nitraatademhaling

Bereken de  $\Delta G^{0'}$  van de oxidatie van glucose met behulp van:

- Zuurstof
- Nitraat ( $\text{NO}_3^-$ )

F = constante van Faraday (96.48 Kj/V)

$$\Delta G^{0'} = -nF \Delta E_0'$$

Oxidatie glucose m.b.v.  $\text{O}_2$ :

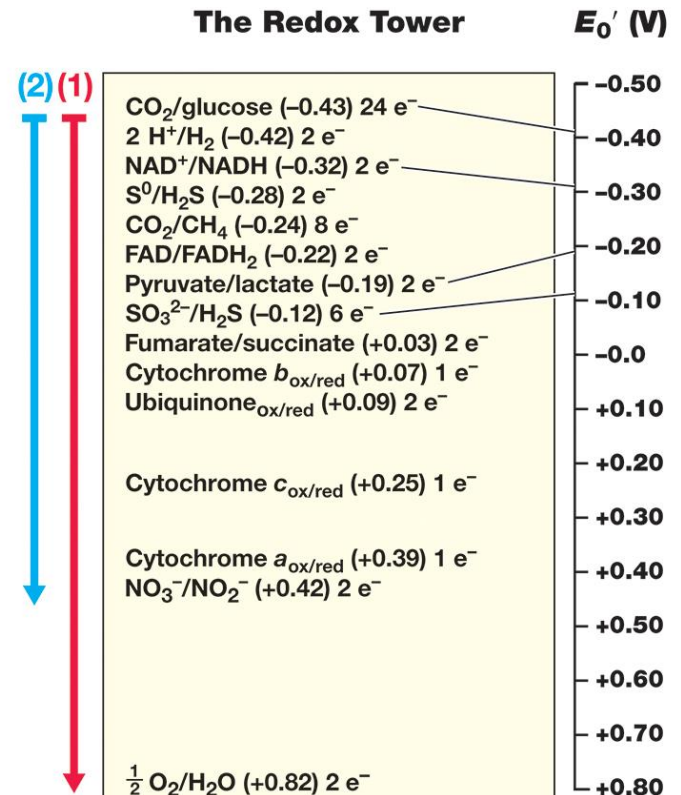
$$\Delta E_0' = 0,82 - 0,43 = + 1,25$$

$$\Delta G^{0'} = -24 * 96,48 * 1,25 = -2895 \text{ kJ/mol glucose}$$

Oxidatie glucose m.b.v.  $\text{NO}_3^-$ :

$$\Delta E_0' = 0,42 - 0,43 = + 0,85$$

$$\Delta G^{0'} = -24 * 96,48 * 0,85 = -1968 \text{ kJ/mol glucose}$$

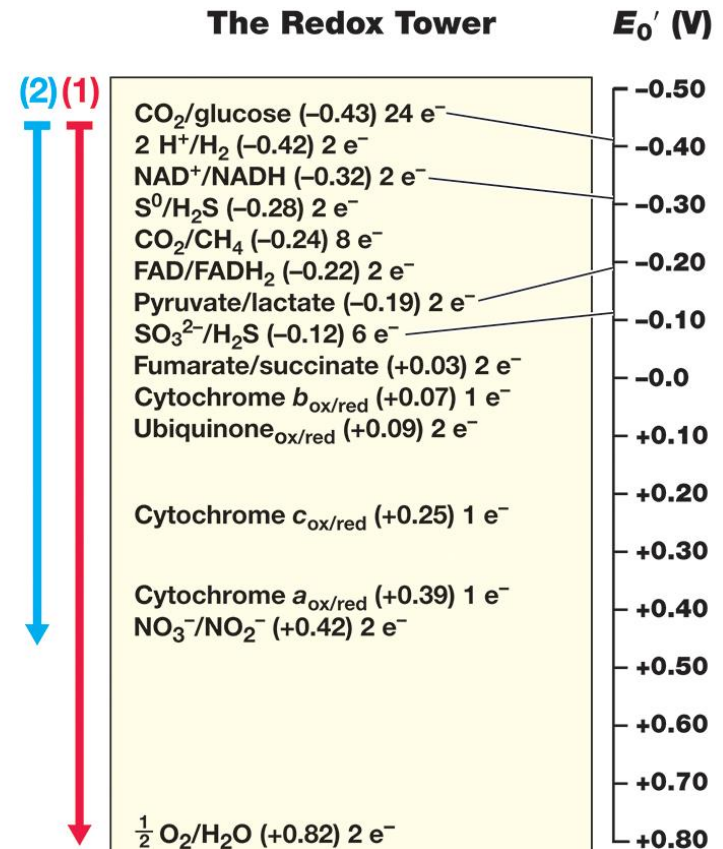


# Aerobe ademhaling - nitraatademhaling

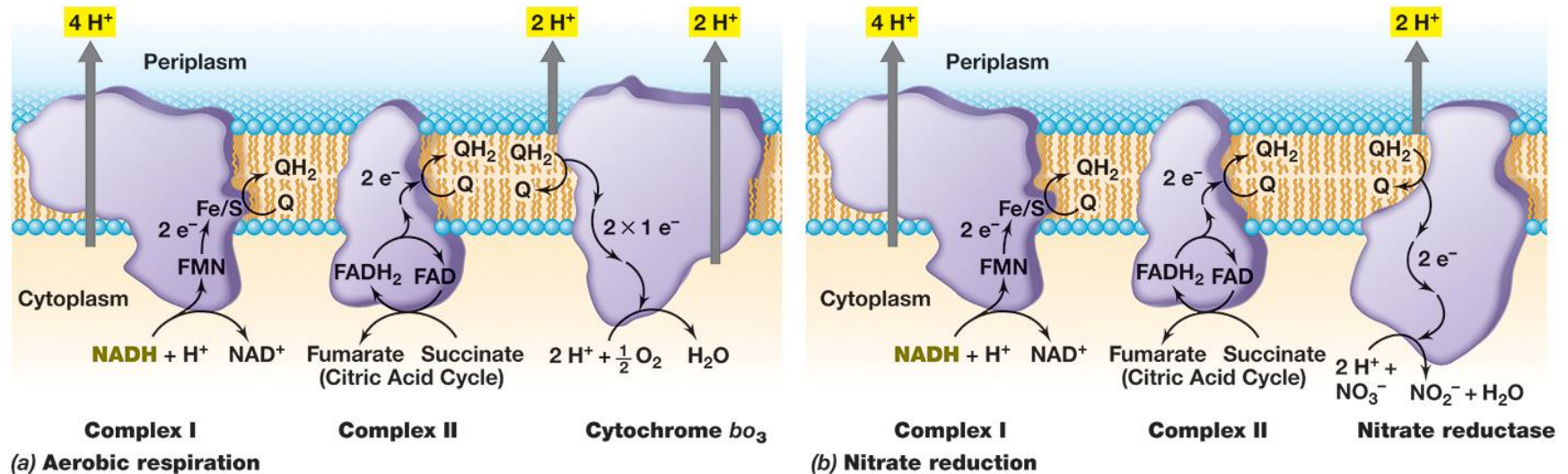
$\text{NO}_3^-/\text{NO}_2^-$  staat hoger in de toren dan  $\text{O}_2/\text{H}_2\text{O}$ .

Wanneer elektronen van glucose naar  $\text{NO}_3^-$  gaan 'vallen' ze minder ver dan wanneer ze naar  $\text{O}_2$  gaan.

$\Delta E_0'$  kleiner  $\rightarrow (\Delta G^{0'} = -nF \Delta E_0')$   
 $\rightarrow \Delta G^{0'}$  kleiner



# *E. coli*: aerobe ademhaling en nitraatademhaling



Gebruik bovenstaande *E. coli* ETKs:

Hoeveel ATP levert 1 glucose molecuul op met aerobe ademhaling?

Hoeveel met nitraatademhaling?

# Uitwerking oefening vorige slide (*E. coli*)

## Stap 1: opbrengsten glycolyse en c.z.c:

Glycolyse: 2 ATP + 2 NADH

Citroenzuurcyclus: 2 ATP + 8 NADH + 2 FADH<sub>2</sub>

## Stap 2: hoeveel protonen over het membraan?

### Aerobe ademhaling

1 NADH: 8 protonen

1 FADH<sub>2</sub>: 4 protonen

Dus totaal:  $10 \times 8 + 2 \times 4 = 88$  protonen

### Nitraatademhaling

1 NADH: 6 protonen

1 FADH<sub>2</sub>: 2 protonen

Dus totaal:  $10 \times 6 + 2 \times 2 = 64$  protonen

## Stap 3: Hoeveel ATP kan ATP synthase maken?

Per ATP heeft het ATP synthase 4 protonen nodig.

Aerobe ademhaling:  $88/4 = 22$  ATP

Nitraatademhaling:  $64/4 = 16$  ATP

## Stap 5: ATP totaal

Aerobe ademhaling:  $22 + 4 = 26$  ATP

Nitraatademhaling:  $16 + 4 = 20$  ATP

# Dus: anaerobe ademhaling

Net als bij aerobe ademhaling:

- transport van elektronen
- proton motive force
- ATP synthase

Maar: levert minder energie op dan aerobe ademhaling.

**Facultatief anaerobe organismen:** gebruiken alternatieve elektronenacceptor wanneer  $O_2$  limiterend is, maar gebruiken weer zuurstof zodra dit beschikbaar is.

**Obligaat anaerobe organismen** kunnen geen zuurstof gebruiken.

# Tot nu toe...

## Glycolyse:



citroenzuurcyclus  
(verdere oxidatie)

2 ATP, 6 CO<sub>2</sub>, 4 NADH en FADH<sub>2</sub>

moeten weer geoxideerd  
worden tot NAD<sup>+</sup> en FAD

moet weer geoxideerd  
worden tot NAD<sup>+</sup>

Respiratie  
(aeroob of anaeroob)

Zou een cel ook alleen glycolyse uit kunnen voeren?

Waarom niet?



# NAD<sup>+</sup>/ NADH cycling na de glycolyse

Tijdens de glycolyse wordt NAD<sup>+</sup> gereduceerd tot NADH

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

Dat kan op twee manieren:

- Elektronentransportketen (ETK): elektronen worden overgedragen op een **exogene** elektronenacceptor.
- Overbrengen op **endogene** elektronenacceptor (**fermentatie**).  
Hierbij ontstaat een fermentatieproduct zoals ethanol of melkzuur (lactaat)

# Fermentatie (= gisting)

Fermentatie verloopt in twee stappen:

## 1. Oxidatie

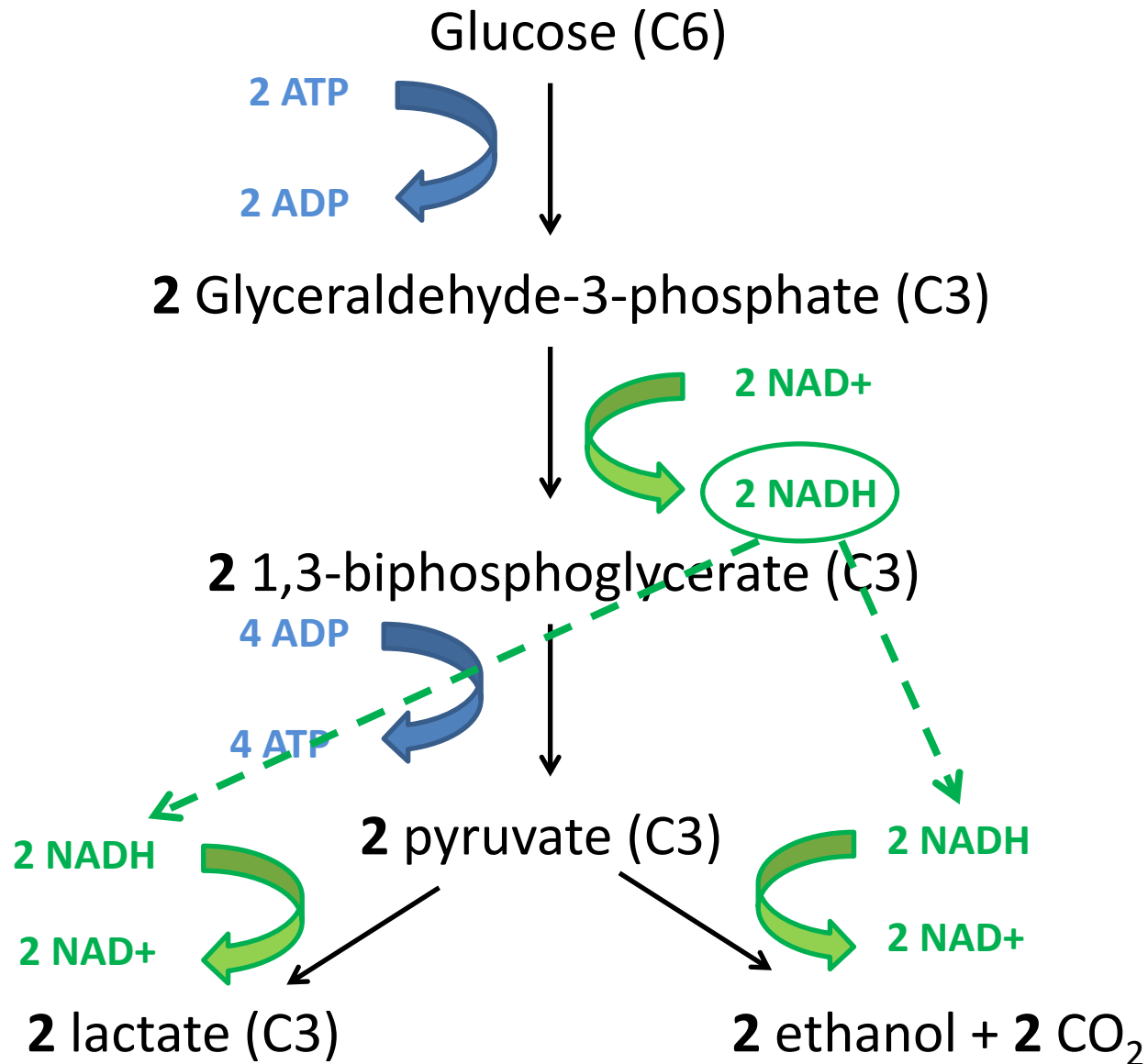
Koolhydraten zoals glucose worden bijna altijd geoxideerd tot pyruvaat via de glycolyse. Dit levert 2 ATP en 2 NADH op.

## 2. Reductie

De ontstane NADH moet weer worden weggewerkt. Dit kan op een groot aantal manieren en is specifiek voor elk gistingstype

Bijvoorbeeld naar melkzuur (lactaat) of naar alcohol (ethanol)

# Glycolyse en fermentatie (zo kennen)



# Fermentatie (gisting)

Gisting of fermentatie is een ATP genererend proces waarbij **geen netto oxidatie of reductie van het substraat** optreedt (gistingsbalans).

Elektronen die onttrokken worden aan het substraat worden niet overgedragen op een externe elektronenacceptor, maar worden weer overgedragen op het (inmiddels omgezette) substraat.

Er wordt dus gebruik gemaakt van een **endogene** electronen acceptor

**Netto treedt er dus geen oxidatie (of reductie) op.**

Dus

fermentatie

kan dienen als  $e^-$   
acceptor

moet weer geoxideerd  
worden tot  $NAD^+$



citroenzuurcyclus  
(verdere oxidatie)

moet weer geoxideerd  
worden tot  $NAD^+$

ATP,  $CO_2$ , NADH en  $FADH_2$

moeten weer geoxideerd  
worden tot  $NAD^+$  en FAD

Respiratie (aeroob of anaeroob)

Hoeveel ATP wordt er (netto) gevormd tijdens de fermentatie van glucose naar lactaat of ethanol?

**=> 2 ATP**

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