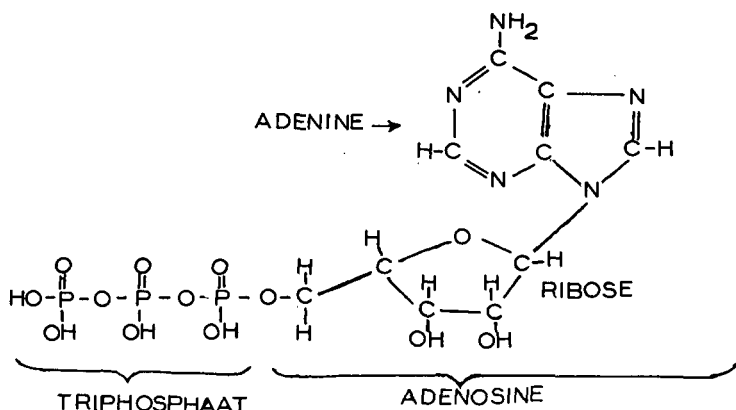


Wat gebeurt er binnen in de cel? (II)

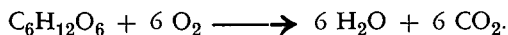
Het is zo langzamerhand al weer een jaar geleden, dat ik U beloofde iets meer te zullen vertellen omtrent chemische omzettingen in een cel. In het oktobernummer van NATURA 1964 ben ik begonnen met de ademhalingsprocessen, waarbij het voor een goed begrip noodzakelijk was eerst iets mede te delen omtrent de chemische opbouw en de eigenschappen van het adenosinetriphosfaat of wel van het ATP. Dat ATP bevat namelijk een grote hoeveelheid gebonden energie, die echter ook weer kan worden vrijgemaakt door het verbreken van de bindingen



tussen de fosfaatgroepen. Enzymen spelen bij de opbouw en afbraak een grote rol.

We zullen nu dus wat verder gaan doordringen in het verloop van de vele processen, die in een cel plaats vinden en beperken ons voorlopig nog steeds tot de ademhaling.

In het vorige artikel heb ik al uiteengezet, dat bij ademhaling suiker wordt afgebroken en dat we dit met chemische symbolen kunnen voorstellen door:



Bij oppervlakkige beschouwing van deze reactie zou men kunnen concluderen, dat de zuurstof gebonden wordt aan het C-atoom van de suiker, daarin zitten hier immers 6 C-atomen en er zijn 6 zuurstofmoleculen, dus die 6 CO_2 komen van die $\text{C}_6 + 6 \text{O}_2$. Van de suiker zou dan 6 H_2O overblijven.

Het bleek nu echter, door nauwkeurig onderzoek met gebruikmaking van isotopen, dat dit water niet het overblijfsel was van de suiker, want de in water gebonden zuurstof bleek afkomstig te zijn van de in het milieu aanwezige lucht. Alleen de H-atomen zijn van de suiker, zodat men hieruit de gevolgtrekking moet maken, dat het proces heel anders verloopt, dan men oorspronkelijk dacht.

Suiker geeft H-atomen af en wel aan een enzym, dit geeft ze weer aan een ander enzym enz. tot dat ze tenslotte verbonden worden met O-atomen, waardoor water ontstaat. Dit is dan heel eenvoudig voorgesteld. In werkelijkheid worden door enzymen twee fosfaatgroepen, afkomstig van 2 moleculen ATP aan glucose gekoppeld, zodat glucosediphosfaat ontstaat. Dit wordt gesplitst in 2 moleculen glycerolaldehyde ($C_3H_6O_3$), waaruit weer door opname van 2 moleculen water en afgifte van 4 H twee moleculen glycerolzuur ($C_3H_6O_4$) ontstaan, die onder afsplitsing van water veranderen in pyrodruivenzuur ($C_3H_4O_3$), terwijl de fosfaatgroep, die met b.v. glycerolaldehyde een ester vormde, nu weer gebonden wordt door ADP tot ATP. De oorspronkelijk van het ATP afkomstige energie is daarin dus weer terug, zelfs wordt meer ATP gevormd dan oorspronkelijk nodig was om de glucose tot glucosephosfaat te maken. Dit komt doordat de afgegeven 4 H opgenomen worden door een enzym, dat ze weer overgeeft aan diphosphopyridine-nucleotide of DPN, de eigenlijke waterstofacceptor (waarover later waarschijnlijk meer), maar uiteindelijk toch worden geoxydeerd, waarbij energie vrij komt.

Pyrodruivenzuur wordt nu opgenomen in een kringloop van chemische processen bekend onder de naam citroenzuurcyclus of cyclus van Krebs.

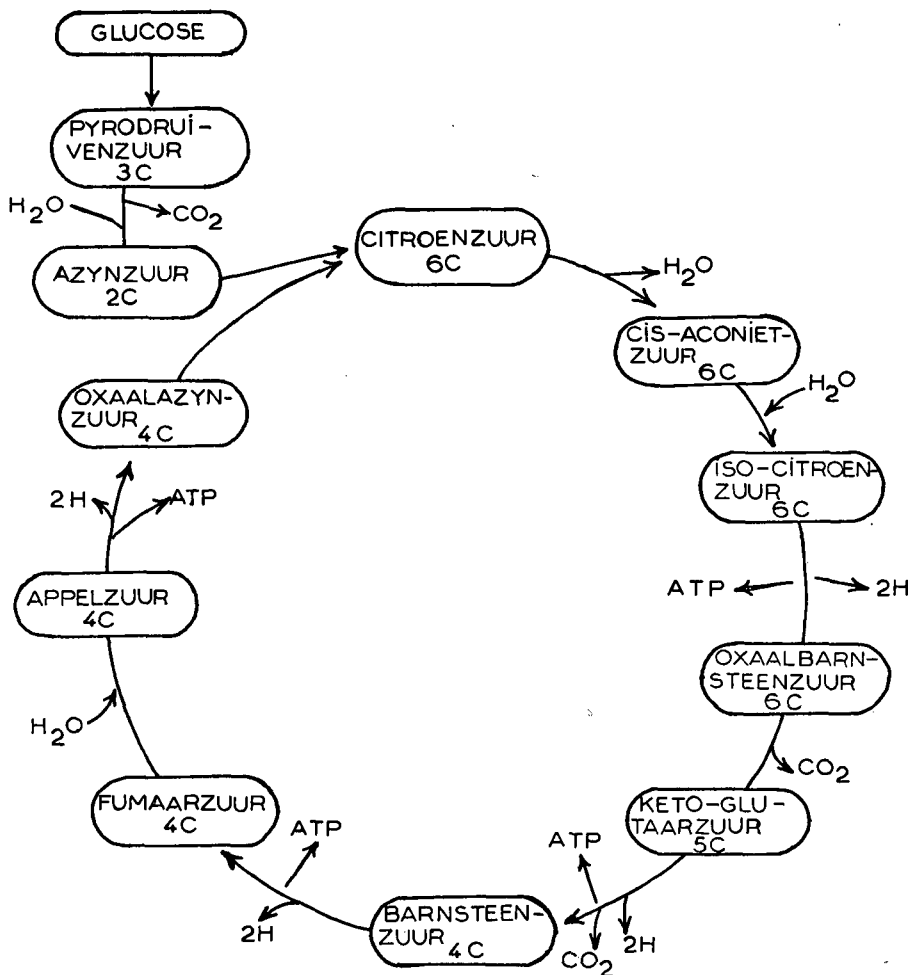
Als U de schematische voorstelling van deze cyclus nauwkeurig bekijkt, ziet U dat dit pyrodruivenzuur onder afsplitsing van CO_2 azijnzuur vormt, dat vervolgens met oxaalazijnzuur het citroenzuur vormt. Dit citroenzuur ondergaat allerlei veranderingen, die echter resulteren in de vorming van oxaalazijnzuur, na afgifte van CO_2 en H-atomen. Dit oxaalazijnzuur kan dan weer met nieuw azijnzuur dezelfde cyclus doorlopen, waardoor dus telkens CO_2 wordt afgesplitst en door oxydatie H_2O wordt gevormd. Het resultaat is, dat door de omzetting van één molecuul glucose maar liefst 38 moleculen ATP worden gevormd. Deze ATP treedt gedeeltelijk uit de mitochondriën naar buiten om overal elders in het protoplasma de energie te leveren voor allerlei omzettingen.

U ziet, dat er heel wat gebeurt voor een molecuul glucose volgens de oude ademhalingsvergelijking is omgezet in koolzuur en water en dat dit dus zeker geen gewone verbranding is zoals van kolen in de kachel.

Ik heb dit alles zo eenvoudig mogelijk voorgesteld, maar natuurlijk gaat het allemaal nog veel ingewikkelder, want allerlei nevensynthesen spelen ook een rol en vele enzymen moeten aanwezig zijn om de gehele cyclus te doen verlopen. Wellicht heb ik ook fouten gemaakt, dan graag even op mijn vingers tikken.

Nu zijn er ook allerlei planten en dieren die zonder vrije zuurstof in hun milieu kunnen leven, maar, die dan de suiker niet op bovenstaande wijze kunnen verwerken, maar deze vergisten.

Daarbij verlopen de eerste splitsingen van het glucosemolecuul tot aan de vorming van pyrodruivenzuur (de zgn. glycolyse) op precies eendere wijze als boven, maar nu geeft het pyrodruivenzuur een molecuul CO_2 af, waardoor het verandert in acetaldehyde. Dit acetaldehyde wordt door de waterstof van het $DPNH_2$, dat bij de glycolyse is gevormd, omgezet in alcohol. Vanzelfsprekend komt nu veel



De Krebs-cyclus

minder energie vrij, slechts 8 moleculen ATP op één molecuul glucose. Deze organismen zullen dus veel meer voedsel verbruiken.

Niet altijd wordt er alcohol gevormd, er kan ook melkzuur ontstaan bv. bij melkzuurbacteriën, maar laat ik daar nu niet verder op in gaan. Voorlopig heeft U, als U het bovenstaande bestudeert voldoende stof om in te zien, dat in zo'n kleine ruimte als een cel toch zo'n ongelooflijk aantal processen keurig op elkaar moet zijn ingesteld om alles naar wens te doen verlopen.

Wat is de schepping toch mooi.