

Johan Storm

De største spørsmål, de minste ting

The biggest questions, the smallest things

Interjvuet 23. februar 2011, Oslo



Hjernen er en grå, halvannenkilos klump med over 100 milliarder nerveceller. Gjennom et astronomisk antall nervefibre svirrer til enhver tid milliarder av elektriske signaler i forskjellige frekvenser. Hver nervecelle er i kontakt med tusenvis av andre nerveceller via spesielle kontaktpunkter (synapser). I synapsene mottas informasjon som har vandret langs nervefibrene kodet som nerveimpulser. Her viderefremmes informasjonen fra de elektriske impulsene til neste celle gjennom intrikate kjemiske og fysiske prosesser. Spesielle proteinmolekyler danner ørsmå "kanaler" for transport av ioner (elektrisk ladde atomer) gjennom nervecellenes "vegger". I hver hjernecelle finnes det tusenvis av ionekanaler av flere titalls ulike typer. Millioner ioner kan strømme gjennom hver av disse kanalene hvert sekund. Ionekanalene i en celle spiller sammen som musikere i et symfoniorkester. Gjennom dette oversettes informasjon, kodet som nerveimpulser i nervefibrene, først til kjemiske signaler i synapsene, så til graderte elektriske signaler i mottakercellen, som så summerer, integrerer og modulerer signalene som en liten datamaskin, før informasjonen igjen oversettes til nye impulser som sendes videre langs cellens nervefibre til de neste cellene i hjernens enorme nettverk.

Svimlende

All dette foregår i denne tross alt lille, grå klumpen som ligger og skvalper i saltvann inni en hinne inni hodeskallen. Og så selve eventyret: Aktiviteten i alle milliardene celler, synapser og ionekanaler, alt sammen prosesser som slik vi forstår dem, skjer i henhold til de kjente fysiske lovene og kjemiske reaksjonsmønstrene, denne aktiviteten produserer subjektiv bevissthet. Og slik overskrides tilsynelatende naturlovene. På en for oss uforståelig måte gir de prosessene i hjernen opphav til våre bevisste sanser og opplevelser, følelser og tanker, og en forestilling om et sansende og tenkende "jag" som står i et direkte forhold til den materielle verden.

Også i et evolusjonært perspektiv er dette mer enn svimlende. Gjennom milliarder av år var universet døvt og blindt og visste ikke om seg selv. "Så vidt vi vet var det først da evolusjonen frembrakte dyr med en avansert hjerne, at fenomenet bevissthet oppsto. Man kan si at det

The brain is a gray, three-pound lump that contains over a 100 billion neurons. Billions of electrical signals of different frequencies constantly swirl through an astronomical number of nerve fibers. Each neuron is in contact with thousands of other neurons through special contact points (synapses). The synapses receive information which has travelled along the nerve fibers, encoded as nerve impulses. The information from the electrical impulses is then passed on to the next cell, through intricate chemical and physical processes in the synapses. In order to transport ions (electrically charged atoms) through the "wall" of the cell, specific protein molecules form tiny "channels". These ion channels can be divided into several different categories. There are thousands of ion channels in each brain cell, and millions of ions flow through each of these channels every second. The ion channels in each cell play together as musicians in a symphony orchestra.

Through this system information is translated. At first the information is encoded as nerve impulses in nerve fibers. Then the information is transferred as chemical signals through the synapses, before the information becomes graded electrical signals in the receiving cell. This cell then aggregates, integrates and modulates the signals, almost like a small computer would, before the information is translated yet again into new impulses which are sent along the cell's nerve fibers to the next cells in the vast network inside the brain.

Staggering

All of this activity takes place in this, after all, pretty small gray lump which lies inside a membrane filled with salt water inside the skull. And the most astonishing thing of all: the activity in all these billions of cells, synapses and ion channels, which are performed according to the known laws of physics and chemistry, are the foundation our subjective consciousness. This process seemingly exceeds the laws of nature. In a way, it seems incomprehensible to us that the processes in the brain give rise to our conscious sensory experiences, feelings, dreams and thoughts.

If we consider it from an evolutionary perspective, this is more than staggering. Through billions of years the universe was deaf and blind and did not know about itself. "As far as we know it was not until the evolution brought about animals with an advanced brain that the phenomenon of

– så vidt vi vet – er først gjennom mennesket at universet kan erkjenne seg selv,” sier professor i nevrofysiologi ved Universitetet i Oslo, Johan Fredrik Storm.

Dette er eventyrlig. Det er slike ting Johan Fredrik Storm er opptatt av. “Det å kunne forklare hvordan bevissthet oppstår, er blitt kalt ‘The ultimate challenge of the next millennium’. Vi er privilegert i vår tid. Omsider har vi utviklet vitenskap og teknologi så langt at vi kan gjøre store fremskritt i forståelsen av vår egen hjerne” sier Storm. Samtidig forsker han på de minst ting. Storm leder en forskergruppe “Laboratorium for nevrale signaler og kretsdynamikk i hjernen”, ved Fysiologisk avdeling og Senter for molekylærbiologi og nevrovitenskap ved Universitetet i Oslo.

Som student begynte Storm med matematikk, kjemi, logikk og filosofi. Deretter utdannet han seg til lege. Han var stipendiat hos professor Per Andersen ved Fysiologisk institutt og arbeidet blant annet med å måle elektrisk aktivitet med elektroder i levende nerveceller. Storms doktorgradsavhandling i 1989 handlet om hvordan nerveimpulser dannes og reguleres i cellene i hjernens hukommelsesområde, hippocampus.

I Storms forskningsgruppe studeres elektriske signaler i nerveceller i isolerte skiver av levende hjernevev. Ved hjelp av infrarødt lys er det mulig å få et klarere bilde av cellene inni vevet. Ved å spore nerveutløperne på denne måten og “suge fast” syltynne rørelektroder på dem, måles de elektriske impulsene og andre signaler inni en enkelt nervecelle. Denne såkalte “patch-clamp”-metoden kan endog brukes til å måle den ørlille elektriske strømmen som går gjennom et enkelt kanalmolekyl. Da er det snakk om pikoampere – omtrent en tusendel av en milliarddel av strømmen i en lommelyktspære. Også såkalte skarpe elektroder brukes. En slik elektrode har en spiss som er så tynn at den ikke kan ses i lysmikroskop. Ved å føre spissen gjennom cellemembranen og inn i cellene kan man registrere elektriske signaler med minimal forstyrrelse av cellens indre miljø.

Fantastiske molekylære maskiner

Forskningen er ikke minst fokusert på hjernecellenes ionekanaler, som er selve grunnlaget for alle hjernens

consciousness occurred. One could say – as far as we know – that it is only through man that the universe can recognize itself,” says Johan Fredrik Storm, professor of neurophysiology at the University of Oslo.

This is fantastic. This is huge. These are the things that Johan Fredrik Storm is interested in. “Being able to explain how consciousness arises, has been called ‘The ultimate challenge of the next millennium’. We are privileged in our time. Finally, we have developed science and technology so advanced that we can make great strides towards understanding our own brain,” says Storm. At the same time his research is focused on the tiniest things. Storm leads a research group called “Laboratory of neural signals and brain circuit dynamics”, at the Department of Physiology and Centre for Molecular Biology and Neuroscience at the University of Oslo.

As a student Storm studied mathematics, chemistry, logic and philosophy before he decided to become a medical doctor. After receiving his degree he worked in the research group of professor Per Andersen at the Department of Physiology. Here Storm mostly worked with measuring electrical activity in living neurons by using electrodes. Storm’s doctoral dissertation in 1989 was about how nerve impulses in brain cells in the main memory region of the brain (the hippocampus) are formed and regulated.

Storm’s research group examines isolated slices of living brain tissue in order to learn more about electrical signals in brain cells. The researchers track the nerve cells by using infrared light, which makes it possible to see the cells inside the living tissue. Then they use a “suction” technique to attach thin electrodes onto the individual nerve cell, which enables the researchers to measure the electrical impulses and signals inside it. This so-called “patch-clamp” method can even be used to measure the tiny electrical current that passes through a single channel molecule. This current is merely some picoamperes – about a thousandth of a billionth of the power of a flashlight bulb. Instead of this technique, the researchers sometimes use sharp electrodes in their work. These sharp electrodes have tips that are so thin that they cannot be seen in a light microscope. With minimal disturbance of the cell’s internal environment, the researchers can detect electrical signals in a cell by gently inserting these miniscule tips through the cell membrane and into the cell.

elektriske signaler som også danner våre tanker og følelser. Disse kanalene dannes av spesielle proteinmolekyler og de muliggjør transport av ioner gjennom cellemembranene. Det finnes fra tyve til femti ulike typer i hver celle og hver og en er spesialisert til å utføre sine bestemte oppgaver, altså å frakte en bestemt type ioner, natrium (Na), kalium (Ca), kalsium (Ca) osv. Og hver kanaltype åpnes og lukkes under helt bestemte betingelser, og på sine særegne måter: Noen åpner seg raskt når den elektriske spenningen i cellen øker over en viss grense, andre åpner seg langsomt når spenningen i cellen blir mer negativ, eller når cellen mottar bestemte kjemiske signaler fra andre celler. Storm understreker at ionekanalene er “fantastiske molekylære maskiner” og samspillet mellom dem danner den enkelte nerveimpuls, og avgjør også tidspunktene, frekvensen og mønsteret av nerveimpulsene som koder all informasjon i hjernen. Summen av aktiviteten i ionekanalene produserer slik sett de elektriske signalene som danner det fysiske grunnlaget for bevisstheten, for alle tanker, følelser, erindringer og drømmer.

Storms forskningsgruppe har blant annet undersøkt betydningen av en spesiell type ionekanal, de såkalte BK-kanalene. I hjernevæsken er konsentrasjonen av kalsiumioner mange tusen ganger større enn inne i nervecellene, og disse ionene spiller en avgjørende rolle for moduleringen av nervesignalene. Kalsiumioner kommer inn i nervecellene gjennom spesielle kalsiumkanaler, og kan da åpne andre kanaler. I 1984 oppdaget Storm at nerveimpulsenes varighet i pattedyrhjernen ikke bare er regulert av kaliumkanaler som åpnes av elektrisk spenning, som det sto i alle lærebøker etter at Nobelprisvinnerne Alan Hodgkin og Andrew Huxley hadde funnet dette hos blekkspruter i 1952. Storm fant derimot at impulsenes varighet merkelig nok bestemmes av spesielt effektive K-kanaler som åpnes av kalsiumioner i løpet av en brøkdel av et tusendels sekund. Selv om en lignende mekanisme var funnet hos frosk, var dette overraskende, siden en slik mekanisme virket unødig komplisert, og man trodde tidligere at kalsiumavhengige prosesser var altfor langsomme til å bidra til selve nerveimpulsen. Senere har Storms gruppe funnet at disse kalsium-aktiverede kaliumkanalene – de såkalte BK-kanalene – også har flere andre overraskende funksjoner i hjernen: De regulerer impulsfrekven-

Amazing molecular machines

Storm's research focuses particularly on the ion channels in the brain, which allow ions to pass through cell membranes. These ion channels are the very foundation of all the brain's electrical signals, which again are the signals that form our thoughts and feelings. These ion channels are produced by special protein molecules. There are about twenty to fifty different types of ion channels in each cell, and each one is specialized to perform a specific task, ie to carry a certain type of ion, such as for example sodium (Na), potassium (K), calcium (Ca) etc. Each type of channel opens and closes under very specific conditions, and in their distinctive ways. Some types of channels, for example, open quickly when the voltage of the cell increases beyond a certain point. Other channels open slowly when the voltage inside the cell becomes more negative, or when the cell receives certain chemical signals from other cells. Storm emphasizes that ion channels are “amazing molecular machines”. The interplay between them forms individual nerve impulses, and also determines the timing, frequency and pattern of the nerve impulses that encodes all information in the brain. In other words, the activity of ion channels produces the electrical signals that form the physical basis for our consciousness, our thoughts, feelings, memories and dreams.

Storm's research group has, among other things, examined the importance of a particular type of ion channel, the so-called BK channels. In brain fluid, the concentration of calcium ions is thousands of times greater than in the neurons, and these ions play a crucial role in the modulation of nerve signals. Calcium ions enter the neurons through specific calcium channels, and can thereby open potassium channels. Since 1952 the common notion shared amongst researchers was that the duration of nerve impulses in the mammalian brain was regulated by potassium channels that are opened by voltage changes, so-called voltage-gated potassium channels. This idea was based on the discoveries made by Nobel prize-winners Alan Hodgkin and Andrew Huxley, who studied nerve fibers of squids. However, in 1984 Storm discovered something that modified this general idea. He found, curiously enough, that in some mammalian brain neurons, the duration of the nerve impulse is determined by certain very effective K-channels, which are opened by calcium ions

sen på en ny og uventet måte. De kan regulere styrken på kjemiske signaler i synapsene, de er svært viktige for lillehjernens kontroll av våre bevegelser og de ser ut til å beskytte hjernebarken mot energisvikt og celledød når blodtilførselen svikter, som ved hjerneslag.

For at kalsiumkonsentrasjonen i nervecellene ikke skal bli for stor, pumpes hele tiden kalsium ut av cellen. Dette krever energi. Dersom energitilførselen til hjernen stopper, ved for eksempel hjerneslag, vil kalsium hoppe opp i nervecellene, den elektrokjemiske balansen forrykkes og cellene risikerer forgiftning og død. Storm og kollegaene har påvist at BK-kanalene i slike tilfeller aktiveres, øker spenningen i cellen, og påvirker dermed kalsiumkanalene slik at de lukker seg og stenger for innstrømmingen av kalsium. På denne måten begrenses skadene på nervecellene.

Forsøkene i dette prosjektet ble utført ved at skiver av hukommelsesområdet i hjernen hos normale mus og hos spesielle genmanipulerte mus uten BK-kanaler ble holdt levende i skåler med oksygen og sukker. For å etterligne hjerneslag, stanset man tilførselen av sukker og oksygen, og undersøkte så hjernecellene etter at tilførselen av næring og oksygen ble startet opp igjen. I andre forsøk ble kunstig hjerneslag fremkalt ved å tette igjen en av hjernens blodårer. Forsøkene viste betydelig mer celledød hos musene som manglet BK-kanaler i hjernecellene enn hos normale mus.

I et annet forskningsprosjekt har Storms gruppe undersøkt to typer ionekanaler som kalles M- og H-kanaler. Disse kanalene åpner og lukker seg ganske langsomt når spenningen i cellen endres, og slipper gjennom kalium- og natriumioner i et bestemt tempo slik at det oppstår spesielle elektriske vibrasjoner i cellene. Svingningen har en frekvens på omtrent sju i sekundet og kalles Theta-bølger. Storms gruppe fant at M- og H-kanalene gjør at celler i hukommelsesområdet i hjernen er særlig følsomme for signaler med denne frekvensen, og at cellene også selv kan danne slike bølger. Annen forskning tyder på at Theta-bølgene danner grunnlag for hvordan hjernecellene registrerer og koder romlig informasjon. For noen år siden oppdaget Storms gruppe at H-kanalene i hjernen reguleres av de samme signalstoffene og de samme molekylære mekanismene som H-kanalene i hjertet, og man vet at det er disse som får hjertet til å slå fortere når vi

within a fraction of a thousandth of a second. Although a similar mechanism had recently been found in frog neurons, this was a surprising discovery because such a mechanism seemed unnecessarily complicated, and because it was believed at the time that calcium-dependent processes were too slow to have any impact during a nerve impulse. Recently Storm's group discovered that these calcium-activated potassium channels, the BK channels, serve other functions in the brain which are also surprising. For example, the BK channels regulate the pulse rate in a new and unexpected way, they can regulate the strength of chemical signals in the synapses, they are very important for the cerebellum's control of our movements, and they seem to protect against cerebral energy failure and cell death when the blood supply fails, such as during a stroke.

In order to ensure that the calcium concentration in nerve cells do not become too high, calcium is constantly pumped out of the cells. This process requires energy. If the energy supply to the brain stops, for example due to a stroke, calcium will accumulate in the neurons. This will disturb the electrochemical balance and possibly kill the cells. Storm and his colleagues have shown that BK channels are activated by such energy shortage. These BK channels make the voltage inside the cell more negative, thus causing the calcium channels to close. Thereby the inflow of calcium to the cell is reduced, which limits the damage to the neurons.

To study the functional roles of the BK channel, the researchers compared normal mice with genetically modified mice that lacked BK channels. In some experiments, the researchers from Storm's group made brain slices from the hippocampus – the area that has to do with memory. The slices were placed in trays and kept alive in artificial brain fluid with sugar and oxygen. In order to mimic a stroke, the researchers would stop the supply of sugar and oxygen for a period of time. Afterwards, they examined the amount of cell death in different parts of the brain slices. As soon as this supply was started up again, the researchers would examine the activity in the brain cells. In other experiments, they artificially induced stroke in the mice by clogging one of the brain's blood vessels. The tests showed significantly more cell death in the brains of genetically modified mouse lacking BK channels, than in the brains of normal mice.

blir redde, opphisset eller glade. Det ser altså ut til at den samme mekanismen øker tempoet både i hjerne og hjerte når vi blir engstelige eller ivrige.

I et annet forsøk ble M-kanalene hos mus tettet igjen ved genmanipulering, slik at cellene mistet sin spesielle følsomhet for signaler med Theta-frekvensen. Disse musene ble så testet i et basseng med melkehvitt, ugjennomsiktig vann, der det fantes en plattform rett under vannflaten som det gjaldt å finne fram til. I motsetning til vanlige mus, som ganske raskt lærte hvor plattformen var, svømte de genmanipulerte musene rundt på måfå, selv om de tilfeldigvis hadde funnet plattformen mange ganger tidligere under trening. Dette tyder på at den romlige hukommelsen ble sterkt svekket når Theta-mekanismen ble stengt av.

Svingningene synes altså å ha betydning for hvordan cellene arbeider og fungerer. Og da ikke minst for hukommelse og evne til å orientere seg. Det kan være slik at vibrasjonene fungerer som en slags klokkefrekvens og at timingen av impulser (som er dannet av andre ionekanaler) i forhold til denne klokkefrekvensen kan kode for, for eksempel, romlig plassering.

Disse forsøkene synliggjør sammenhenger mellom vidt forskjellige nivåer: Mellom aktivitet i ionekanaler og andre prosesser på molekyl- og cellenivå, og enormt komplekse fenomener og prosesser på organisme- og adferdsnivå, som læring, hukommelse og ulike sykdommer.

Hvordan oppstår bevissthet?

Storm understreker at hjernen er det mest komplekse kjente objektet i universet og et produkt av omtrent fire milliarder års evolusjon. Den rommer fysiske og kjemiske reaksjoner i mer enn hundre milliarder hjerneceller, ioner som strømmer gjennom billioner av ionekanaler og danner elektriske impulser som både er produktet av og opphav til alle disse prosessene. Gjennom den menneskelige hjernen har universet kommet til bevissthet om seg selv.

Det store spørsmålet er om man noen gang vil kunne forklare hvordan bevisstheten oppstår? "Jeg vet jo ikke om vi mennesker noen gang vil være i stand til å finne en fullgod forklaring, som vil besvare alle våre spørsmål om bevisstheten – kanskje finnes det noe som vi aldri helt

In another research project Storm's group studied two types of ion channels known as the M-and H-channels. These channels open and close very slowly when the voltage of the cell changes, and permits potassium and sodium ions to pass through at a certain rate. The result is a special type of electrical oscillations (vibrations) in the cells. The oscillations have a frequency of about seven per second and is called *theta* oscillations or *theta* waves. Storm's group found that the M-and H-channels make the cells in the memory part of the brain particularly sensitive to signals with this frequency, and that the cells themselves can create such waves. Other research suggests that the *theta*-waves form the basis for how the brain cells detect and encode spatial information. A few years ago Storm's research group discovered that H-channels in the brain are regulated by the same neurotransmitters and the same molecular mechanisms as H-channels in the heart. Furthermore, researchers know that the H-channels in the heart cause the heart to beat faster when we are scared, excited or happy. In other words, it seems as though the same mechanisms increases the pace in both the brain cells and the heart when we become anxious or eager.

In another experiment, the M-channels in mice were blocked by genetic engineering so that the cells lost their special sensitivity for signals with *theta* frequency. These mice were then tested by being placed in a pool of milky white, opaque water, where there was a platform located somewhere just below the surface. Their task was to find the platform. Unlike normal mice that quickly learned to search where the platform was, the genetically engineered mice swam about almost at random, even if they had happened to find the platform many times before during training. This suggests that the spatial memory was severely impaired when the M-channels, and thereby the *theta* mechanism, was shut off.

Such oscillations therefore seem to be relevant for how brain cells work, especially in functions concerning memory and orientation. It may be that the oscillations act as a kind of clock frequency, and that the timing of the nerve impulses (which are formed by other ion channels) is compared to this clock frequency. It has been suggested that this timing could constitute a code for a spatial location.

These studies highlight the connections between widely different levels. By linking together the activity in the tiny

vil kunne fatte. Men jeg er ganske trygg på at vi gjennom forskning kan komme mye nærmere en forståelse av hjerne-bevissthetsproblemet enn vi er i dag” sier Storm.

“En retning å gå, kan være å undersøke nærmere hva slags nevralt aktivitet som lager bevissthet og hvilken som ikke gjør det, altså identifisere såkalte ’nevrale korrelater til bevissthet’. Det ser ut til at bare enkelte hjerneprosesser gir opphav til dette merkelige fenomenet. De fleste av våre hjerneprosesser er jo ikke ledsaget av bevissthet, til tross for at de fysiske prosessene – nerveimpulsene og andre signaler – likner til forveksling på dem vi finner i hjernebarken der vi tror bevissthet oppstår. Hva skyldes dette?”

Dette kan studeres på mange måter. Det er gjort forsøk med aper som får se med bare det venstre øyet et bilde av en annen apes ansikt. Man registrerer da aktivitet i visse celler i tinninglappen som spesifikt reagerer på ansikter. Når apen deretter blir vist et annet kontrastrikt bilde på det høyre øyet, “distraheres” den og “oppfatter” ikke lenger bildet av apeansiktet, til tross for at dette fortsatt vises for det andre øyet, slik at den fysiske påvirkningen i øyet, signalene i synsnervene etc. er uforandret. Samtidig som apen mister sin bevisste persepsjon av apebildet, forsvinner aktiviteten i de aktuelle cellene i tinninglappen. Disse cellenes aktivitet kan altså tilsynelatende være del av et “nevralt korrelat til bevissthet”: De er aktive hvis og bare hvis apen har denne bevisste synsopplevelsen.

I løpet av de siste hundreårene har forskerne stein på stein bygget det store byggverket som naturvitenskapene i dag konstituerer. “Vi kan ikke helt utelukke at det kan vise seg nødvendig med et radikalt nytt paradigme for å forstå bevisstheten, kanskje noe tilsvarende det som kvantemekanikkens gjennombrudd representere. Men kanskje er det mer sannsynlig at vi etter hvert, gjennom nevrovitenskapelig forskning steg for steg, kan finne et tilfredsstillende svar på spørsmålet om hvordan bevisstheten oppstår” sier Storm. “For hundre år siden mente mange ledende forskere at fenomenet *liv* var et stort mysterium. Det virket nærmest uforklarlig ut fra vanlige fysiske lover. Så sent som i 1932 foreslo den store atomfysikeren Niels Bohr at det kanskje ville være umulig å forklare fenomenet *liv* ut fra de fysiske lovene som gjelder i livløs natur. Men utviklingen har vist at han var for pessimistisk. Bio-kjemisk, cellebiologisk og evolusjonsbiologisk forskning

ion channels with other processes at a molecular and cellular level and finally putting them in a context with phenomena and processes at the behavioral level, we may begin to comprehend the enormous complexity and structure behind processes such as learning, memory and various diseases.

How does consciousness arise?

Storm emphasizes that the brain is the most complex object known in the universe, and a product of almost four billion years of evolution. In the brain, myriads of physical and chemical processes produce advanced information processing in more than a hundred billion brain cells. In these cells, ions flow through trillions of ion channels and form the electrical impulses and other electrical signals that are both the product and the source of all these processes. As far as we know, the universe has become conscious of itself through the human brain.

The big question is whether one will ever be able to explain how consciousness arises from these physical and chemical processes. “I do not know if we humans will ever be able to find a satisfactory explanation, which will answer all our questions about consciousness. Perhaps there will always be some things which we will never be quite able to comprehend. But I’m pretty confident that through research we can come much closer to an understanding of the brain-consciousness problem than we are today,” Storm says. “One avenue to explore might be to try to identify which kinds of neural activity creates awareness and which do not, and thereby identify the so-called ‘neural correlates of consciousness’.” It seems that only certain brain processes give rise to this strange phenomenon. Most of our brain processes are not accompanied by consciousness, even though the physical processes such as the nerve impulses and other signals are confusingly similar to those found in those parts of the brain, mainly in the cerebral cortex, where we believe consciousness arises. What is the reason for this? This can be studied in many ways. For example, certain tests have been made with monkeys. A monkey is shown a picture of another monkey’s face and looks at the picture with only the left eye. The researcher records the activity in certain cells that specifically responds to faces, which are located in the temporal lobe. However, when the monkey is suddenly shown

har nå gitt oss et langt på vei fullgodt svar på hva *liv* er, helt i samsvar med vanlig fysikk og kjemi. Levende celler og vesener er ikke lenger noe uløselig mysterium. På lignende måte kan det tenkes at bevissthetens mysterium så å si vil "løse seg opp" og forsvinne når vi får tilstrekkelig kunnskap om hjernens mekanismer," sier Johan Storm.

another high-contrast picture to the right eye, the monkey is "distracted". The monkey signals with a handle that it can no longer perceive the image of the monkey face, although it is still presented to his left eye. While the monkey loses his conscious perception of the picture of the monkey, the activity in the appropriate cells in the temporal lobe suddenly disappears. The activity in these cells may thus seem to be part of a "neural correlate of consciousness": they are active only if the monkey has this conscious visual experience.

"Regarding the nature of consciousness, I think we cannot completely exclude the possibility that it may be necessary with a radically new paradigm in order to obtain a breakthrough in understanding, perhaps something similar to the breakthrough that quantum mechanics represented in physics. However, perhaps it is more likely that we will eventually, through neuroscientific research, step by step, find a satisfactory answer to the question of how consciousness arises," Storm says. "A hundred years ago, many leading scientists thought that the phenomenon of life was a big mystery. It seemed almost inexplicable judging from the ordinary laws of physics. As late as 1932 the great atomic physicist Niels Bohr suggested that it might be impossible to explain the phenomenon of life from the physical laws that apply to inanimate nature. But the subsequent development has shown that he was too pessimistic. Biochemical, evolutionary, cell and molecular biological research has now given us a satisfactory answer to what life is, quite in accordance with normal physics and chemistry. Living cells and beings are no longer an unsolvable mystery. Similarly, it is conceivable that the mystery of consciousness will "dissolve", so to speak, and disappear when we have sufficient knowledge of brain mechanisms," Johan Storm says.

SERIAL 2520
 Configuration: 2520
 Time: 10:00 (10:00)
 Memory: 1000
 Power: 1000
 [Hand-drawn diagrams and notes on a yellow sticky note]



SERIAL 2520 Again
 [Handwritten notes and diagrams on a yellow sticky note]

