

Rebecca C. Thompson

TULI, JÄÄ JA FÜÜSIKA

„Troonide mängu“ teadus

Sean Carrolli eessõna



elav teadus

Originaali tiitel:

Fire, ice, and physics: the science of Game of Thrones

Rebecca C. Thompson; foreword by Sean Carroll

© 2019 Rebecca C. Thompson

All rights reserved

Tõlkija Vahur Lokk

Toimetaja Triin Olvet

Teadustoimetaja Jaak Kikas

Konsultandid Lauri Laanisto, Lauri Lemming

Keeletoimetaja Katrin Ringo

Küljendaja Erje Hakman

Tõlge eesti keelde © Vahur Lokk ja kirjastus Argo, 2020

Kõik õigused kaitstud

www.argokirjastus.ee

ISBN 978-9949-688-31-9

Trükitud Tallinna Raamatutrükikojas

P. W. H.-le, E. J. E.-le ja R. I. M.-ile

Järgmine kord, kui mulle selline mõte tuleb, anna mulle vastu vahtimist.

TYRION LANNISTER

SISUKORD

EESSÕNA.....	11
SISSEJUHATUS.....	15
1. TALV ON TULEKUL – AGA KAS IKKA ON?	21
Westerosi aastaajad	21
Mis õigupoolest on aastaajad?	23
Miks on Maal aastaajad?	26
Väga elliptiline orbiit	31
Liikuv telg	32
Milankovići tsüklid	36
Kaks Päikest?	37
Mis siis Westerosil ikkagi toimub?	40
2. JA NÜÜD ALGAB MINU VAHIKORD:	
JÄÄMÜÜRI TEADUS.....	43
Mis on jää ja kuidas see toimib?	44
Imeline pükreet.....	50
Suures mõõtkavas on jää põhimõtteliselt ketsup	52
Westerosi Suur Müür ja Westenporti müür.....	57
3. MÜÜRIST PÕHJA POOL: KUIDAS KÜLMAS	
ELLU JÄÄDA.....	61
Kehatemperatuuri reguleerimine.....	62
Kui keha lihtsalt ei tule toime	67
Loomanahk (evolutsioon on imeline).....	70
Kuidas inimesi sooja hoida.....	73
Kas Jon Snow'l on vaja mütsi?.....	80

4. EBALASED, ZOMBID, PARASIIDID JA STATISTIKA	87
Mis on zombi ning kas tondid ja Ebalased lähevad arvesse?	89
Zombide neuroloogia ja bioloogia	90
Zombide/jääzombide mädanemine	95
Zombineuroloogia: mis nende peas toimub?	98
Zombistatistika ja ellujäämisplaan:	
kas Westeros võiks eluga pääseda?	101
Boonus: zombilohed	104
5. TAVALINE PITTSBURGHI TERAS	107
Kõva, pehme, habras ja painduv: miks just teras?	108
Metallide eraldamine: sulatamine ja pronksiaja koidik	113
Pronksi- ja rauaaeg	114
Terasest mõõkadeni	121
Kuidas teras külmas vastu peab?	124
Sam Ebalase vastu, esimene katse	125
6. VALÜÜRIA TERAS DAMASKUSEST	127
Toormaterjalid: tiigelteras ja bulatt-teras	129
Kangi töötlemine: Euroopa mitte just teraseim hetk	132
Kohtuvad tõeliselt vana tehnoloogia ja uhiuus teadus	136
„Damaskuse“ teras eBays	140
Valüüria teras ja Ebalased	141
7. LOHEBIOLOOGIA: NAHKHIRED, AINULT TULEGA	145
Püsi- või kõigusoojased?	146
Lennuki lend	148
Linnud ja nahkhiired ja kõik muud	152
Dinosaurused	157
Lõpuks ometi lohed	159
8. KUIDAS TAPPA EBALAST: LOHEKLAASI FÜÜSIKA	163
Tahke, vedel või mõlemat? Mis on klaas?	165
John Mainstone'i tõrva kurb lugu	171
Obsidiaan	173
Sam Ebalase vastu, teine katse	177

9. HARRENHAL: KAS TULI SAAB SULATADA KIVI?

HÄVITADA MÜÜRI?	179
Mis on tuli?	180
Kuidas võiks lohed tuld teha?	183
Erinevad värvid, erinevad suurused	190
Mis on sulamine ja kas kiviga saab seda juhtuda?	194
Kuidas oleks Harrenhali ja Balerion Musta Hirmuga?	197
Viserioni maagiline tuli	198

10. KÄREJÕE LAHING: TURMATULE TEADUS..... 203

Vesi ei ole alati tulest tugevam	204
Saastatuse ohud	206
„Täiuseni viidud“ nüüdisaegsed leegirelvad	207
Värviline tuli	211
Kreeka tuli	215

11. TARGARYENI JA LANNISTERI KOJAD:**VÄHESTE HARUDEGA SUGUPUU GENEETIKA**.....221

Kuidas geenid toimivad	222
Kuidas tunnused edasi kanduvad	225
23 ja sina	227
Geneetiliste haiguste tuvastamine verepilanduse kaudu	229
Mitmekesisuse tähtsusest ja mis juhtub, kui seda pole	231
Otsime sarnase ja erineva tasakaalu	233
Paneme hullule kuningale diagnoosi	237

12. ME EI KÜLVA: MERE TEADUS.....241

Kiire ja kerge aeglase ja tapva vastu	242
Täiskäik edasi	247
Kuidas jõuda kohale	250
Joo oma apelsinimahl ära!	253

13. KUNINGA KOHUS: HIRMSA SURMA BIOLOOGIA.....257

Pea maharaiumine	258
Kuldne kroon	262
Poomine	264
Mürk	270
Kolba purustamine	276

Teibal põletamine	278
Uppumine.....	279
Millise lõpu te siis valiksite?.....	282
EPILOOG	283
TÄNUAVALDUSED	286
MÄRKUSED	287

SISSEJUHATUS

Aga ennekõike olen ma teadlane. Väljaõppinud teadlasena esitan palju-palju küsimusi ja tahan teada, miks asjad juhtuvad just nii, nagu nad juhtuvad. Tahan saada selgitusi ja põhjendusi sellele, mida näen. Tahaksin, et saaksin seda harjumust sisse ja välja lülitada, aga ei saa. See tähendab, et telekavaatamine ja ilukirjanduse lugemine kipub muutuma huvitavaks ajaviiteks, mis sunnib mind alailma pausi tegema ja elukaaslasele hüüdma, mida teaduslikus mõttes kahtlast meile jälle näidati. Sellele järgneb lustlik 20-minutiline teadusalane mõttevahetus, just nagu need, mida me armastasime ülikoolis pidada. Ma loodan, et mu kinnisidee esitada nii palju küsimusi ja nõuda neile vastuseid ei riku teie rõõmu fantaasiast, vaid hoopis suurendab seda. Ma ei kavatse nokkida „Troonide mängu“ iga stseeni pisiasjade kallal. Ma ei taha vaadata iga mõõgahoopi ega nooletrajektoori ja öelda, et seda ei saa juhtuda. Hollywood teeb nii palju asju lihtsalt põnevuse pärast ja ma ei taha raisata liiga palju lehekülgi seletamisele, miks need valed on. Küll aga tahan kasutada „Troonide mängu“ väravana, mis viib teid päris huvitava teaduse juurde, ja kasutada siis neid teadmisi, et lisada tõeliselt hea vaatemängu hindamisele uus mõõde.

Kui ma just parasjagu Hollywoodi teadusest ei kirjuta, teen oma igapäevatööd ja õpetan mitteteadlasi teadust hindama. Minu standard-nali on, et kui kohtan baaris mingit tüüpi ja ta küsib minult, mida ma teen, siis sõltub mu vastus suuresti sellest, kui atraktiivne ta on. Kui tahan vestlust jätkata, siis ütlen, et kirjutan teaduspõhiseid koomiksi-raamatuid. Kui eelistan, et ta jalga laseks, siis ütlen, et olen füüsik. Rangelt võttes on mõlemad vastused õiged, aga esimene kõlab hoopis vähem hirmutavalt. Minu eesmärk elus on seda muuta.

See raamat sai alguse esinemisest Biosphere 2-s Arizonas. Ei, see polnud „Biodome“ (jube film Pauly Shore'iga peaosas), vaid hoopis eksperiment, mille käigus pandi inimesed klaaskupli alla, et näha, kas nad suudavad seal kolm aastat elada. (Ei suutnud.) Nüüd on seal teadusasutus ja teadusõpetajate koolitamise instituut. Soovitan soojalt seda külastada, aga astuge kindlasti rajalt kõrvale ja vaadake varemeid. Korraldajad kutsusid mind paari tundi läbi viima ja öhtusöögi ajal üldhuvitavat füüsikaloengut pidama. Küsisin, millest ma võiksin rääkida, ja nad vastasid: „Ükskõik millest.“ Ma olin teinud blogipostitusi igasuguste asjade füüsikast, aga ma polnud kunagi pidanud loengut „ükskõik millest“ ja sellist võimalust ei saanud raisku lasta. „Troonide mängust“ oli äsja saanud kõige enam piraaditud sari maailmas ja mina olin sellest sõltuvuses. Nägin sarjas nii palju teaduslikus mõttes huvitavat ja see tundus olevat proovimiseks väga hea „ükskõik mis“. Ma ei osanud aga oodata, et lähen sinna ettekandega täis verd ja jubedusi, surma ja hirnsaid videolõike – ja et ma olen seltskonnas ainus sarja näinud inimene. Sellele vaatamata juhtus kaks asja. Suur hulk inimesi sai teaduse kohta päris palju teada ja terve hulk uusi fänne sai pööratud sarja usku. Ma pole päris kindel, kas mind esinema kutsunud inimene sai ikka päriselt aru, kuidas ma tõlgendan „ükskõik mida“, aga siin me nüüd oleme, pärast hulka selle ettekande versioone – ja nüüd ka raamatut.

Kuna raamat sai alguse ettekandest ja ma tunnen end kõige paremini, kui saan asju seletada vahetult ja rääkides, on mu stiil väga kõnekeelne. Ülikoolis nõudis juhendaja, et me räägiksime oma uurimistööst nii, nagu seletaks emale. Ma märkisin, et see on rohkem kui pisut seksistlik, mu toakaaslase emal on insenerikraad ja ta saaks keerulistest sõnadest arvatavasti vabalt aru. Siis sõnastas ta oma soovi ümber ja palus meil selle asemel selgitada oma tööd 12-aastasele. See sundis meid otsima töö põhiideid ja piirduma ainult nende selgitamisega. Ma ei tea, kuidas oma juhendajat tänada, et ta meid seda tegema sundis. Nii said meist paremad teadlased, paremad õpetajad ja paremad grantide taotlejad. Ma ei tea, kas mu stiilivalik on hea või halb, aga kuna ma leidsin, et see on minu viis asju teha, siis miks mitte?

Olen täiesti veendunud, et igaüks peaks maistest (ja vahel eba-maistest) asjadest arusaamiseks vähemalt natuke teadusest jagama, oskama vabalt kasutada levinud terminoloogiat ja mõelda teadlase kombel. Inimesed räägivad väga sageli, et „ma ei ole õieti teaduse-inimene“ või „ma ei saa õieti teadusest aru“, aga ometi ei pea me loomulikult mitte olla „raamatuinimene“ või mitte aru saada poliitika-st. Need on kõik oskused, mida inimestel on ühiskonnas hakkama saamiseks vaja, ja teadusega ei peaks minu meelest olema kuidagi teisiti. Inimeste teadusest huvituma panemiseks ja nende sellega harju-tamiseks on erinevaid meetodeid. Oma töös on mul olnud võimalus proovida neist mitmeid, blogipostitustest koomiksiteni. Loodan, et retk Hollywoodi teadusesse jõuab inimesteni sellisel viisil, mida ma veel proovinud pole. Loodan, et naudite seda, aga ennekõike on mu ees-märk, et vaataksite raamatut lõpetades asjadele teise pilguga. Siinses raamatus leidub spoilereid. (Oi kui palju spoilereid.) Kui te pole 7. hoo-aega lõpuni vaadanud, siis arvestage, et saate teada, mis põhitegelastega juhtub. Teid on hoiatatud.

Ma ei taha teilt sugugi sarja vaatamise mõnu ära võtta. Seitsmes hooaeg oli eetris, kui ma seda projekti alustasin, ja olin mures, et saan seda vaadata ainult teadlasena ja kaotan selle poole, mida ma nii armastan: tegelased, nende omavahelised suhted ja seosed, ootamatud surmad ja lohed. Oma hirmu asjatust taipasin siis, kui Daenerys esimest korda Drogonil ratsutas, tiivad lehvisid ja hingeõhk lõõmas, ja see mul pisara silma võttis. Ma nutsin, kui tapeti Viserion, ja rõõmustasin, kui Jon ja Dany viimaks kokku said. Mu emotsionaalne kaasaelamine hoopis suurenes, mitte ei vähenenud, ja ma loodan, et sama juhtub ka teiega. Ehk aitab see raamat teil paremini mõista, kui rikas ja sügav on tegelikult Westerosi maailm.

Mulle pakkus suurt lusti valida teemasid, millele keskenduda, ja otsida välja neid osi sarjast, millele leidis vahvaid teaduslikke seletusi. Kuna nii suur osa sarjast on seotud surmaga, siis teadsin, et sellest tuleb kõige tähtsam peatükk. Arvasin, et kuna olen sarjas näinud nii palju surma, ei tohiks suremise teadusest kirjutamine olla liiga raske. Eksisin rängalt. See oli emotsionaalselt raske ja vaatamata kõigile pingutustele ei suutnud ma ennast teadlasena teemast lahus hoida sel määral, nagu

oleksin tahtnud. Võtke arvesse, et surmapeatüki lugemine võib olla oodatust raskem. Seda kirjutades sain aga teada kaht asja. Esiteks, et blond naine, kes arutab kokteilipeol asjalikult giljotiini teaduslikke üksikasju, viib mõned inimesed šokiseisundisse ja sunnib neid uue joogi järele töttama. Teiseks – elust surmani jõudmiseks pole olemas lihtsat teed. Mis ka poleks, on see karm üleminek, aga küllap me saame kõik lõpuks ise järele proovida. Mitmesuguste piinamismeetodite teadusesse otsustasin oma nina mitte toppida, kuna tundus, et see oleks juba liiast.

Ma tean, et paljudele sarja tahkudele ja sellele maailmale on pühen-datud hea hulk internetifoorumeid ja populaarteaduslikke artikleid. Lohetuli ja turmatuli on just sedasorti teemad, mille üle inimestele meeldib arutleda. Nii palju kui võimalik, olen püüdnud neid sarja elemente käsitleda või kasutanud neid alguspunktina aruteludes pärismaailma teaduse üle. Kui tunnete, et ärritute ega taha minuga nõustuda, palun andke mulle võimalus ja lugege mu väited lõpuni. Kasutasin oma töö toetamiseks viiteid esmaallikatele ja hulka teadus-likku argumentatsiooni. Mõnel juhul võisin argumenti või võimalikku teaduslikku seletust mitte märgata, kuid kindlasti oleks nendest vahva kuulda. Kui kirjastaja lubab, tuleb ka teine trükk, mis saab neid küsimusi käsitleda ja ehk vastata kõigile teie huvitavatele teadus-küsimustele. HBO otsib juba näitlejaid uuele eelloosarjale, seega kes teab, mis veel juhtuda võib!

Loodan, et suutsin nende tööpoolest keeruliste teemade teaduse teha kergesti arusaadavaks. Siinkohal räägin mitte kogu olemasoleva teabe summast, vaid sellest, mis minu meelest oli teema seisukohalt kõige olulisem. Mul on olnud huvitavaid kogemusi nagu intelligentsed vestlused müüdist, et salpeetrit kasutati sõdurite sugutungi alandajana, või Saksa giljotiini efektiivsusest, kuid ma ei kirjutanud neist selles raamatus, sest Westerosiga on neil vähe pistmist. Tänu moodsale sotsiaalmeediale olen aga rõõmsal meelel valmis kõigist neist asjadest pikalt rääkima.

Ennekõike lugege ja nautige. Õppige midagi uut, olge omaenda kokteilipeo tujurikkuja või tähelepanu keskpunkt, olenevalt selts-konnast. Nautige sarja. Nautige teadust. Olge vahvad, olge emotsionaal-

sed, elage kaasa ja laske teadusel asja veel paremaks teha. Ma loodan, et teile meeldib seda raamatut lugeda samavõrra, kui mulle meeldis seda kirjutada. Õppisin palju ja loodan, et teie õpite ka.

Kõige selle peale lubage mul parafraseerida Sansa Starki ja Jon Snow'd: teadus on tulekul. Ma ju ütlesin.

MÜÜRIST PÕHJA POOL: KUIDAS KÜLMAS ELLU JÄÄDA

*Kui külm, mõtles ta, meenutades Talitundru sooje kambreid,
kus kuum vesi voolas müüride sees nagu veri inimese kehas.*

*Mustas Kantsis leidis napilt soojust;
müürid olid siin külmad ja inimesed veel külmemad.*

JON SNOW, „TROONIDE MÄNG“

Mulle meeldivad Jon Snow juuksed. Ausalt, kes, Kit Harington välja arvatud, *ei* armastaks Jon Snow juukseid? Pikad voogavad ronkmustad lokid passivad nii hästi ta igavesti mõtliku ilmega. Ma pole kunagi mõelnud, miks produtsendid lasevad ta juustel Müüril puhuvast põhjatuules metsikult ja vabalt lehvida. Küll aga olen mõelnud, kuidas ta ilma mütsita elus püsib. Martini väitel on kliima Müürist põhja pool üsna külm. Küllap olete kuulnud sedagi, et „Troonide mängu“ kostüümidisainerid tegid Öise Vahtkonna vendade kuue IKEA vaipadest. Kas võltskarusnahast vaibast piisaks, et Joni soojas hoida? (Muidugi eeldusel, et Ygritte pole välja ilmunud.) Samamoodi, kuidas püsivad loomad nii kaugel põhjas soojas? Öine Vahtkond on ka üsna heas vormis kamp. Oletan, et loomanahk (või siis vaip) ei juhi higi eemale nagu nüüdisaegsed kangad seda teevad, kuidas nad seega saavad

Ebalaste eest joostes tõhusalt oma kehatemperatuuri reguleerida? Tänapäeval suudavad inimesed ellu jääda kõikjal Maa peal, pooluste külmast ekvaatori halastamatu kuumuseni. Ent kas tõesti suutsid inimesed sellistele äärmustele vastu panna ka Westerosi päevil?

Seitsmenda hooaja osa „Teisel pool Müüri“ jättis väga palju küsimusi vastuseta. Kui kiiresti Gendry ikkagi joosta suudab? Kui kiiresti rongad lendavad? Asjakohane küsimus on aga see, kuidas Jon ja tema mehed said hakkama välistingimustes, väikesel saarel kesk külmunud järve külmas abi oodates. Kui ta seejuures ellu jäi, kuidas ta elas üle jäisesse vette kukkumise ja pärast märgades riietes koju ratsutamise? Loode-tavasti vastab see peatükk nendele küsimustele ja mõnele teiselegi. Kui olete mu elulugu lugenud, siis teate, et vabal ajal tegelen vastupidavusaladega. Olen võistelnud ultrajooksudel nii Texase ja Florida kuumuses kui Lake Placidi miinuskraadides. Olen mitu korda mõelnud, kas minu keha tuleks korraga toime nii külma kui elavate surnute eest lippamise sportliku katsumusega. Küllap oskab teadus öelda, kas ma saaksin sellega hakkama ka IKEA Tejni vaipa mähituna.

KEHATEMPERATUURI REGULEERIMINE

Enne kui hakkame aru saama, mida on vaja inimese külmas soojana hoidmiseks, on oluline mõista, kuidas keha oma temperatuuri reguleerib ja kuidas ta jõuab punkti, kus see enam võimalik pole. Inimkeha sisaldab õige keerulist süsteemi, mis hoiab seda temperatuuril 37 °C – pluss-miinus paar kraadi – kogu päeva, mistahes tingimustes, kogu eluaja. Paljud bioloogiaõpikud soovivad mõelda sellest kui kodusest termostaadist, kuid see poleks päris õiglane (ehkki tõsi ta on, et tegu on tagasisidestatud juhtsüsteemiga). Kui teil on palav, hakkab süsteem jahutama, kui teil on liiga külm, toimub vastupidine. Kogu protsessi nimetatakse *termoregulatsiooniks*. Nagu iga tagasisidesüsteemi puhul, on ka sellel kolm osa: juhtimiskeskus, sensorid ning meetod füüsiliste ja keemiliste muudatuste käivitamiseks. Termoregulatsiooni juhtimiskeskus on hüpotaalamus, piirkond aju esiosa all, kohe ajuripatsi kohal. Sensorid on kõikjal kehas, sealhulgas ka hüpotaalamuses. Küllap teate mitmeid viise, kuidas keha kuumu ja külmaga toime tuleb: higistamine,

kananahk, värisemine ja hammaste plagistamine, seedeprobleemid. Sellest, kuidas süsteem töötab püsi- ja kõigusoojastel loomadel, räägin lähemalt 7. peatükis, praegu aga käsitlen ainult inimesi.

Kui jäite Arizonas liiga kauaks õue või arvasite, et jooksmine (ilma et teid taga aetaks) on hea mõte, reageerib keha ülekuumenemisele nii: esmalt tõuseb sisetemperatuur üle 37 kraadi. Teie keha saab väikeste temperatuurimuutustega hakkama, enne kui tegutsema asub, kuid sellest lävest edasi teavitavad teie keha temperatuuriandurid hüpotaalamust probleemist. Aju käsib nahal higistama hakata, et püüda aurumisel toimuva jahtumise kaudu kehasoojusest osaliselt vabaneda. Kui hästi see toimib, saate hästi aru märjale nahale puhudes. Järgmist sammu te ei pruugigi märgata. Aju annab veresoontele korralduse laieneda. See võimaldab verel paremini naha alla voolata ja kannab soojuse nahale, mis aurustumise abil jahtub. Kui töötate tihti palavaga väljas, siis teate, kuidas pärast pikalt kuuma käes olemist tekivad tursed. Seda teeb keha veresooni laiendades. Kuna seedimine toodab päris palju soojust, aeglustab keha sedagi protsessi ja saadab osa verd seedesüsteemist nahalähedastesse veresoontesse. Sel põhjusel tekib mõnel inimesel pikemal kuuma käes töötamisel iiveldus. Enamasti piisab kõigi protsesside tagasi normi viimiseks higistamisest ja vere- ringe ümbersuunamisest. Kui aga otsustate edasi pingutada, tõuseb kehatemperatuur piisavalt kõrgele, et hüpotaalamus muutub võime- tuks. Nüüd, mil enam miski kehatemperatuuri ei reguleeri, jätkab see tõusu ja arvatavasti ei püsi te elus väga kaua. Kui temperatuur tõuseb umbes 42 kraadini, tekivad ajukahjustused, kui see jõuab 44 kraadini, mis on piisavalt kuum, et muuta keha valkude struktuuri, te surete.

Kui keha hakkab külma tundma, käsib aju teha organisüsteemidel kõik võimalik soojuse hoidmiseks. Esmalt käsib hüpotaalamus nahal kohe higistamise lõpetada. Seejärel annab see nahale korralduse karvad püsti ajada, et hoida sooja õhku keha läheduses. Järgmiseks käsib see veresoontel kokku tõmbuda, suunates seega rohkem verd keha tuumiku poole, mis seda (ja teie ülejäänud keha) soojas hoiab. Just seepärast näivad teie sõrmed külma ilmaga kokku tõmbuvat ning küüned ja huuled näivad sinised – neis piirkondades on verd vähem. Kilpnääre vabastab nüüd hormoone, mis käivitavad sooja tootmise

suurendamiseks lihaste liikumise. See paneb teid värisema ja hambad plagisema. Ainevahetus kiireneb, sest protsess, millega keha energiat kasutab, on eksotermiline (ehk soojust vabastav) reaktsioon. Kiirem ainevahetus tähendab rohkem sooja. Kui kõik see ei tööta ja teie kehatemperatuur langeb 35 kraadini või allapoole, on teil ametlikult hüpotermia ehk alajahtumine. Kuna külm aeglustab kõiki teie keha keemilisi reaktsioone, tekib teil esmalt segadus ja te muutute kohmakaks. Tõelised probleemid hakkavad peale, kui kehatemperatuur langeb alla 30 kraadi. Nii madalal temperatuuril ütlevad üles olulised organid ja surm järgneb üsna pea.

Huvitav on märkida, et keskeltläbi suudab keha toime tulla kummaski suunas enam-vähem võrdse temperatuurimuutuse vahemikuga. See on siiski vaid keskmine, mis põhineb inimeste andmete statistikal. Seega on loomulikult olemas tähelepanuväärseid erandeid. Mitmeid inimesi on ellu äratatud väga madala kehatemperatuuri korral ilma suurema pikaajalise kahjustuseta, kuid väga vähesed inimesed suudavad taastuda tõsisest kuumarabandusest. (Käsitluse ühe kõige äärmuslikuma alajahtumisest taastumise juhtumi kohta leiate uppumisest rääkivast lõigust 13. peatükis.)

See on kiire ja lihtne seletus, kuidas keha temperatuuri reguleerib, kuid ei puuduta tegelikult küsimust, miks reguleerimist vaja on. See võib näida ilmselge, kuid et tegelikult aru saada, kuidas sooja hoida ja kui palju nahka võib äärmuslikes oludes paljastada, tuleb vaadata füüsikalisi protsesse, mille kaudu materjal, sealhulgas teie keha, sooja saab või kaotab. Soojuse ülekandmiseks on neli viisi: aurustumine, soojusjuhtivus, konvektsioon ja kiirgus. Esimene kaitseliin keha ülekuumenemise vastu on higistamine. Peamiselt veest, milles on mingil määral soola, koosnev higi jahutab aurudes nahka. See on põhjus, miks te pärast kuumal päeval jooksmas käimist maitsete nagu kartulilaast. Vesi saab veeauruks muutuda kahel viisil, millest üks on keemine. Keha või higi temperatuur on mõõt, mis näitab molekulide liikumise kiirust. Mida kiiremini need liiguvad, seda kõrgem on temperatuur. Kõige kiiremad higimolekulid liiguvad piisavalt kiiresti, et lendavad minema ja muutuvad gaasiks. Need võtavad kaasa energiat (või soojust), seega on naha lähedal nüüd vähem energiat ja allesjäänud

molekulide keskmine liikumishulk väiksem. Kuum nahk soojendab higi üha edasi ja higimolekulid viivad aurustudes naha pinnalt soojusenergiat minema. Ümbritsev õhk võib korraga mahutada ainult teatud koguse vett. Kui väljas on niiske, on õhk niiskusest küllastunud ja seega pole higiaurule enam palju ruumi jäänud. Kuna higil pole kuskile minna, ei saa see ära aurata ega teid jahutada. Ehkki tegelen vastupidavusspordiga, vihkan ma higi. Niipea kui ma higistama hakkan – eriti sees trenni tehes, kui rätik on käepärast –, pühin ma selle ära. See on halb mõte, sest tähendab, et mu higi ei aura. Minu vaen higi vastu häirib tegelikult keha jahutamismeetodit, hoiab mu trenni käigus kuumemana ja paneb mind veel rohkem higistama.

Keha kaotab soojust ka soojusjuhtivuse ja konvekttsiooni kaudu. Kui kuum keha asub jahedamas ruumis, liiguvad molekulid nahal kiiremini kui õhus. Naha ja õhu kokkupuutepinnal tabavad nahal kiiremini liikuvad molekulid aeglasemaid õhumolekule ja kannavad energiat üle, pannes õhumolekulid kiiremini liikuma. Soojus liigub nahalt õhku tänu ringi pörklevatele molekulidele. Seda protsessi nimetatakse soojusjuhtivuseks. Konvekttsioon toimub aga vastupidiselt siis, kui voolav aine, näiteks õhk – jah, nii gaasid kui vedelikud on voolavad ained –, liigub ja kannab soojust endaga kaasa. Kui olete kunagi soojendanud külmutatud pitsat või küpsist, siis teate, et konvekttsioon-ahju käimapanekul lülitub sisse ventilaator. See on sundkonvekttsioon, mis tähendab, et ventilaator sunnib õhu liikuma ja soojus jaotub ühtlaselt. Inimese nahal toimub loomulik konvektiivne jahtumine. Kuum õhk tõuseb üles. Kui olete väga kuum, ümbritsevast õhust kuumem, on ka õhk soojem nahale lähemal kui sellest kaugemal. Kui õhk naha läheduses soojeneb, hakkab see tõusma ja vastu nahka liigub jahedam õhk. Küllap olete midagi sarnast näinud, kui kuum õhk kerkib üles auto kapoti kohal või kuumalt asfaldilt. Üldiselt toimivad konvekttsioon ja soojusjuhtivus seni, kuni kaks kokku puutuvat keha saavutavad ühesuguse temperatuuri. Seda nimetatakse *soojustasakaaluks*. Inimkeha toodab ja kaotab soojust pidevalt, seega eeldades, et õhutemperatuur on madalam kui kehatemperatuur, ei ole soojustasakaal saavutatav seni, kuni inimene on elus.