



Amerikāņu eksperimentālā
reaktora sirdi 192 läzeru starī
atduras pret nelielu degvielas
kapsulu un ierosina
kodolsintēzes procesu.

PHILIP SALTONSTALL/LNL

KODO

9 mm

1 DEGVIELA:
kodolsintēzes reaktorā iepilda smago ūdeņradi, kas atrodams jūras ūdeni, un supersmagais ūdeņradi, ko iegūst no litija.

Smagais ūdeņrādis (deitērijs) Supersmagais ūdeņrādis (tritijs)

KODOLSINTĒZE

2 PROCESS:
nelielā tvertnē ārkārtīgi augstā spiedienā un temperatūrā divus atomus saspiež tik cieši, ka tie saplūst kopā.

Hēlijs Brivais neutrons

3 REZULTĀTS:
šo enerģiju var pārvērst par elektrību. Kodolsintēzes procesa "atkritumi" ir hēlijs un brīvs neutrons, kas kļūst par jaunu degvielu.

REAKTORS KOPĒ SAULES SPĒKSTACIJU

Saules kodolā ūdeņražā atomi saplūstot sintezē hēliju. Kodolsintēzes reaktorā izmanto to pašu principu – smagais ūdeņrādis (ar vienu prottonu un vienu neutronu) un supersmagais ūdeņrādis (ar vienu prottonu un diviem neutroniem) saplūst un izdala hēliju, kā arī brīvu neutrōnu un augstas enerģijas starojumu, kas var darbināt tvaika turbinu.

Fiziki sapņo par spēkstaciju, kas darbojas līdzīgi kā procesi Saules iekšpusē. Ūdeņražā atomi saplūstot var sagādāt milzīgu daudzumu tīras un drošas enerģijas. ASV fiziķi kodolsintēzes procesā ieguvuši enerģijas pārpalikumu eksperimentālā reaktorā NIF, bet Francijā top, iespējams, vissarežītākā iekārta pasaule – ITER jeb Starptautiskais kodoltermiskais eksperimentālais reaktors.

L S I N T E Z E

IR NĀKOTNES ENERĢIJA

192 LĀZERI APSTARO DEGVIELU

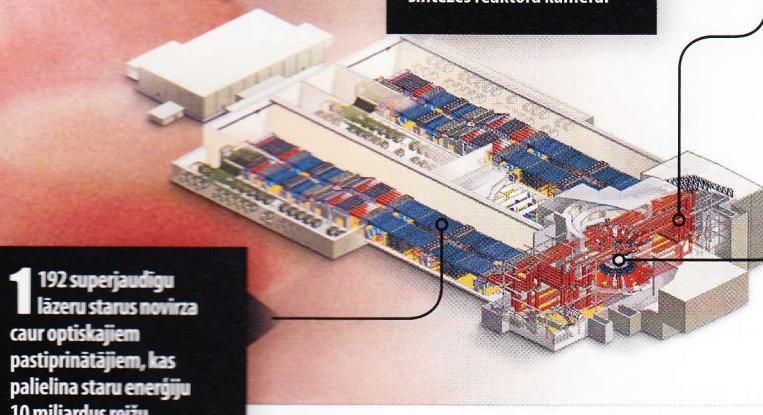
100 metru garais reaktors NIF Kalifornijā darbojas kā liels lāzera pastiprinātājs. 192 ļoti augstas enerģijas lāzeri ļoti precīzi trāpa pa siku degvielas kapsulu, kurā atrodas ūdeņradis. Lāzera staru "apšaude" saspiež ūdeņraža atomus kapsulā tik cieši, ka tie saplūst kopā, veidojot hēlija atomus, un izstaro spēcīgu radiāciju.

Lāzera stari atduras pret degvielas kapsulu, kuras diametrs ir tikai 2 milimetri.

LLNL



1 192 superjaudīgu lāzera starus novirza caur optiskajiem pastiprinātājiem, kas palielina staru enerģiju 10 miljardus reižu.



2 Kad lāzera stari izgājuši caur pastiprinātājiem 52 reizes, augstas enerģijas starojums nonāk kodolsintēzes reaktora kamerā.



3 Kamerā stari trāpa pa kniepadatas galviņas lieluma ūdeņraža kapsulu. Tā tiek saspista tik ļoti, ka tajā notiek ūdeņraža kodolsintēzes process.

Aiz 100 metru garās rūpnicas ēkas durvīm fiziķi gatavojas jaunam fizikas vēstures posmam. Nospiežot vienu pogu, aktivizējas 192 lāzeri. Stari atkārtoti traucas caur optiskajiem pastiprinātājiem, līdz nonāk apalajā reaktora kamerā. Ikiens no tiem trāpa pa mazo plastmasas kapsulu. Pakļauta 150 miljardu atmosfēru lielam spiedienam un 50 miljonu grādu augstai temperatūrai, kapsula iztvaiko, atbrīvojot tajā esošo ūdeņradi. Un tad iestājas ilgi gaidītais bridis – ūdeņraža atomi saplūst, radot hēliju un atbrīvojot enerģiju. Kontrolētā kodolsintēzes procesā iegūta enerģija ir kļuvusi par realitāti.

Amerikāņu eksperimentālajā reaktorā – Nacionālajā aizdedzes iekārtā (NIF) – zinātnieki ir spēruši svarīgu soli, lai atdarinātu to enerģijas avotu, kas liek kvēlot Saulei. Ar 192 lāzeriem viņi no mazās ūdeņraža kapsulas ieguvuši vairāk enerģijas nekā tajā ieguldījuši. Zinātnieki vēlējušies sasniegt šādu mērķi jau 60 gadu, jo perspektīvas ir milzīgas. Kodolsintēze ir gandriz neizsmējams enerģijas avots. Tās degviela ir smagais ūdeņradis, kas

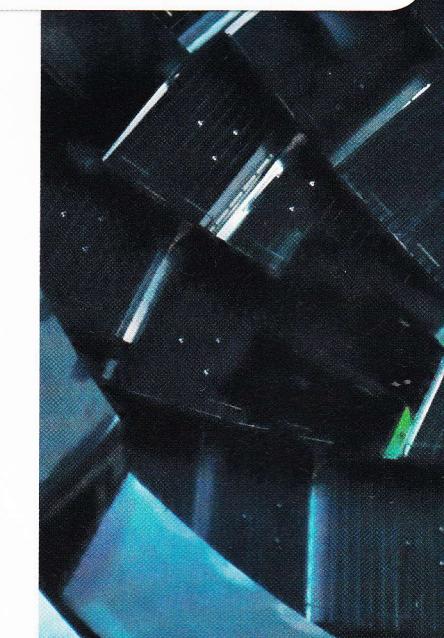
iegūts no jūras ūdens, un supersmagais ūdeņradis, ko iegūst no litija, kura zināmo rezervu pietiks vismaz tūkstoš gadiem. Te nav riska, ka reaktorā notiks katastrofāla sakušana, jo procesu var kā automāšinas dzinēju jebkurā brīdī izslēgt.

Kodolsintēze var atrisināt pasaules enerģētikas problēmu. Bet ceļš uz kodolsintēzes procesā saražotu elektrību projām ir garš un sarežģīts.

Deg kā slapja malka

Konstrukcijas drošības apsvērumu dēļ kodolsintēzes spēkstacijas nevar sakust. Tomēr viens no lielākajiem izaicināumiem fiziķu spējām ir aizsākt un uzturēt kodolsintēzes procesu. Tas ir tikpat grūti kā iekurināt ugunkuru ar slapju malku. Ūdeņraža bumbā, kur kodolsintēze var notikt nekontrolēti, par aizdedzes elementu izmanto nelielu atombumbu, tomēr šī metode nav praktiska spēkstacijā, kuras mērķis ir izmantot milzīgos spēkus kontrolētā veidā.

Tāpēc zinātnieki smējas iedvesmu no Saules. Tās iekšpusē ūdeņraža atomi paši no sevis saplūst, veidojot hēliju, jo tur ►



ilustretazinatne.lv

Noskaties, kā lāzeri trāpa
pa ūdeņraža kapsulu

Izseko lāzera staru ceļam cauri
spēkstacijai līdz reaktoram.

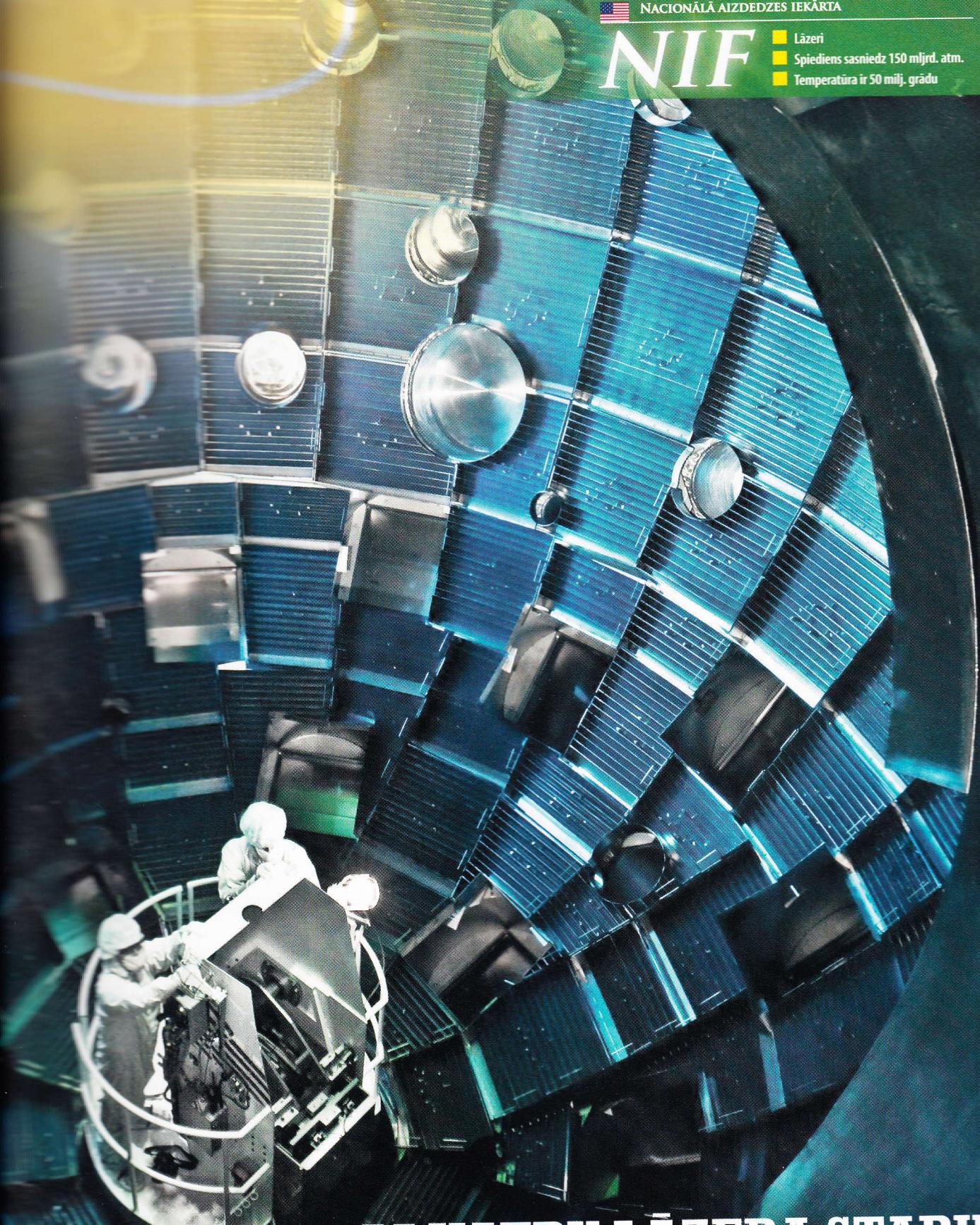
ilustretazinatne.lv/kodolsinteze



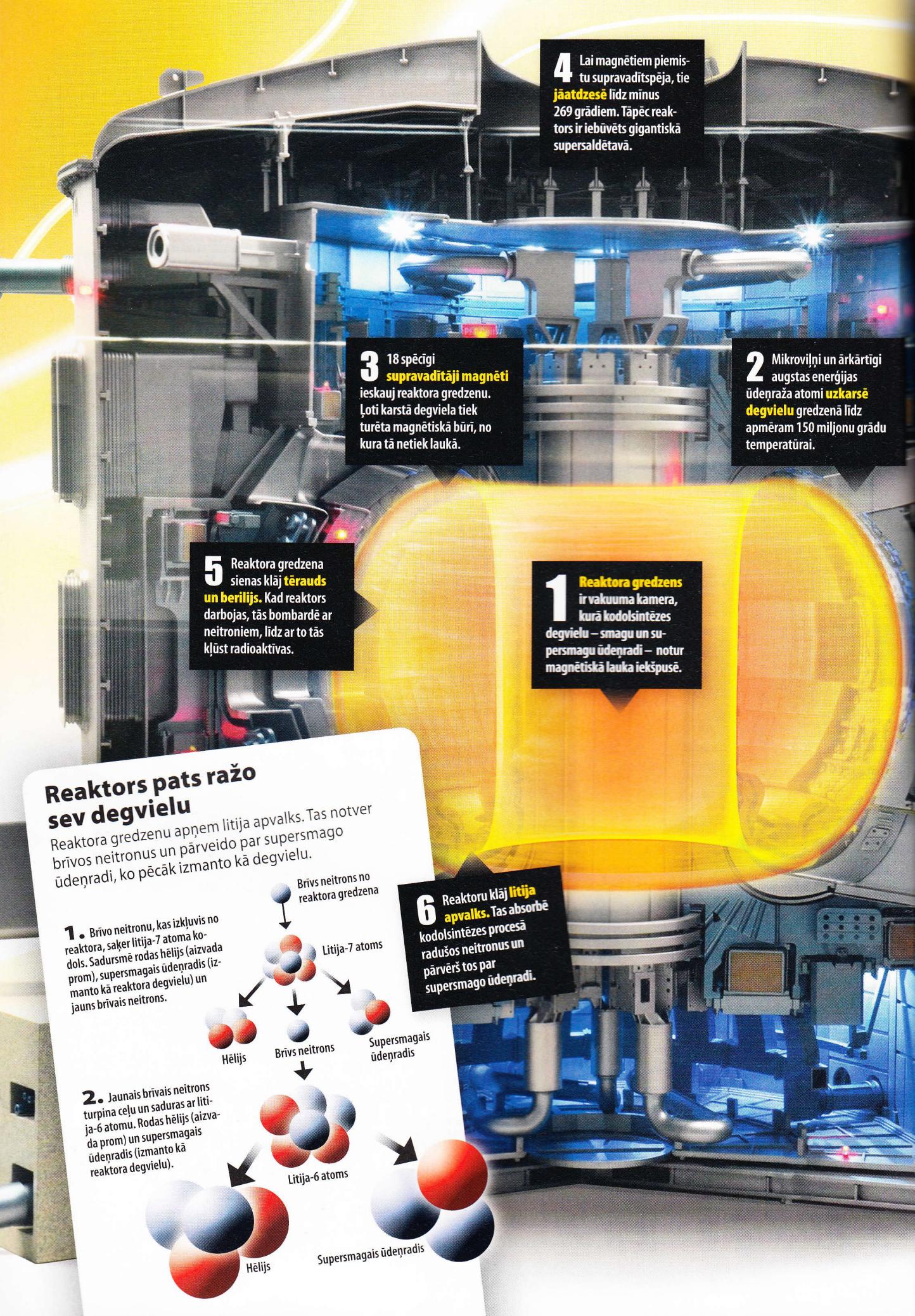
Lāzeri

Spiediens sasniedz 150 mljrd. atm.

Temperatūra ir 50 milj. grādu



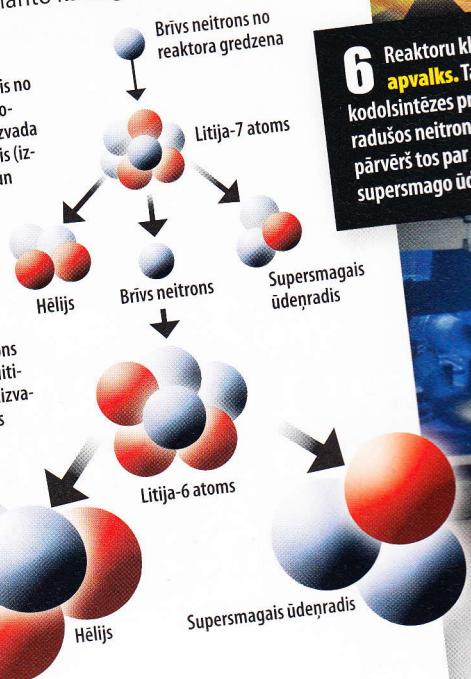
**„KATRU LĀZERA STARU
PASTIPRINA LĪDZ
10 MLJRD. REIŽU.**



Reaktors pats ražo sev degvielu

Reaktora gredzenu apņem litija apvalks. Tas notver brīvos neutronus un pārveido par supersmagu ūdeņradi, ko pēcāk izmanto kā degvielu.

1. Brīvo neutronu, kas izklūvis no reaktora, saķer litija-7 atoma koldols. Sadursmē rodas hēlijs (aizvada prom), supersmagais ūdeņradis (izmanto kā reaktora degvielu) un jauns brīvais neitrons.



2. Jaunais brīvais neitrons turpina ceļu un saduras ar litija-6 atomu. Rodas hēlijs (aizvada prom) un supersmagais ūdeņradis (izmanto kā reaktora degvielu).

4 Lai magnētiem piemis tu supravādītspēja, tie jāatdzesē līdz minus 269 grādiem. Tāpēc reaktors ir iebūvēts gigantiskā supersaldētāvā.

5 Reaktora gredzena sienas klāj tērauds un berilijs. Kad reaktors darbojas, tās bombardē ar neutroniem, līdz ar to tās kļūst radioaktīvas.

3 18 spēcīgi supravādītāji magnēti ieskauj reaktora gredzenu. Ļoti karstā degviela tiek turēta magnetiskā būri, no kura tā netiek laukā.

1 Reaktora gredzens ir vakuuma kamera, kurā kodolsintēzes degvielu – smagu un supersmagu ūdeņradi – notur magnetiskā lauka iekšpusē.

2 Mikroviljni un ārkārtīgi augstas enerģijas ūdeņraža atomi uzkarē degvielu gredzenā līdz apmēram 150 milijonu grādu temperatūrai.

ITER

- Magnētu sistēma sver 6500 tonnu
- Reaktora iekšpusē 150 miljonus grādu
- Izmaksas būs ap 13,5 mljrd. eiro

MAGNĒTI TUR DEGVIELU CIEŠĀ TVĒRIENĀ

Pašlaik Francijā būvētais *ITER* ir eksperimentālais reaktors, kurā fiziķi varēs izmēģināt, kā noturēt kodolsintēzes procesu spēcīga magnētiskā laukā iekšpusē. Reaktorā degvielu – ūdenraža atomus – apstaros ar mikroviļņiem un temperatūru palielinās līdz 150 000 000 grādu. Tādos apstākļos ūdenraža atomi saplūst kopā, atbrīvojot enerģiju, kuru uztver reaktora dzesēšanas sistēma.



ITER pašlaik top Francijas dienvidos. Gruntī jau ir iebezonēti 493 pāli, uz kuriem balstīsies reaktors.

► valda milzīgs spiediens un 15 miljonu grādu augsta temperatūra.

Arī uz Zemes ūdenradis ir vispiemērotākā degviela kodolsintēzei – kaut vai tāpēc, ka tā ir tik daudz. Tomēr tad, ja nav Saulei raksturīgā spiediena un temperatūras, tas jāaizdedzina citādi. Tāpēc pētnieki bombardē ūdenraža kapsulu ar trim jaudīgiem lāzera impulsiem 20 nanosekundēs jeb sekundes 20 miljardajās daļās. Lāzeri pārnes 10 kilodžoulus enerģijas uz 170 mikrogramiem ūdenraža un ierosina kodolsintēzi, kas saražo 15 kilodžoulu enerģijas. Patiesībā tas ir ļoti maz, tomēr tie ir 50% liekās enerģijas.

Lāzeru patēriņtās elektrības daudzums bija 100 reižu lielāks, tomēr enerģijas apreķinā tas netika iekļauts, jo ir iecerēts, ka pēc lāzeru izslēgšanas process iekārtā

turpināsies pats no sevis. Šis noslēpumainais bezzaudējuma punkts (*brake-even*), kad kodolsintēze generē vairāk energijas, nekā reaktors patēri, ir pieknoteikums nākotnes kodolsintēzes spēkstacijām. NIF reaktors ir uzbūvēts, lai noskaidrotu, kā radīt aizdedzī ūdenraža kapsulās. Fiziķu sapnis ir panākt, ka ārkārtīgi karstie hēlija kodoli, kuri rodas ūdenraža atomu kodolsintēzē, liktu degvielai joprojām uzkarst un nodrošinātu procesa turpināšanos. Jaunākajos eksperimentos amerikāņu fiziķi novērojuši dažas pazīmes, kas varētu liecināt par šo parādību.

Lielākais kodolsintēzes reaktors

Lai arī NIF reaktorā gūtie rezultāti ir daudzsoši, nav nekādas garantijas, ka nākotnes kodolsintēzes reaktoros tiešām lietos lázerus. Francijā patlaban top vislielākais kodolsintēzes reaktors pasaule, bet tājā izmanto citu metodi.

Milzīgajā *ITER* – Starptautiskajā kodoltermiskajā eksperimentālajā reaktorā – kodolsintēzes degvielu uzkaršēs līdz 150 miljoniem grādu, un tā būs iesprostota magnētiskā būri. Šīs tehnoloģijas izstrāde jau vairākus gadus desmitus ilgst, piemēram, Eiropas eksperimentālajā iekārtā JET, kur gandrīz izdevies radīt enerģijas pārpālikumu. Izmēģinājumos pētnieki patēriņja 20 megavatu, lai ierosinātu kodolsintēzes procesu, kurā tika saražoti 16 megavati.

Pirmie *ITER* eksperimenti notiks 2028. gadā. Eksperimentālais reaktors ne vien radīs kodolsintēzes procesu, kas darbosies dažas nanosekundes, bet arī uzturēs aizdedzī 6–8 minūtes un desmitkāršos iegūto enerģiju. Zinātnieki paredz – kad sākotnējie izmēģinājumi būs beigušies, reaktors spēs noturēt degvielu magnētiskajā sprostā veselu stundu un saražot enerģijas daudzumu, kas 30 reižu pārsniegs kodolsintēzes procesa ierosināšanai izmantoto enerģiju.

ITER būs vislielākā un vissarežģītākā ierīce, kādu cilvēks jebkad ir uzbūvējis. Uz betona pamatiem stāv 493 stabi ar ▶

Reaktora izplūdes sistēma atdala no iekšķķina gredzena hēliju līdzīgi ar tiem iekšējā sienas atomiem, kas atrauti bombardēšanas laikā.

ITER projektā piedalās 35 valstis. Reaktoru plānots nodot ekspluatācijā 2020. gadā.

**„ 1 KG ŪDENRAŽA VAR DOT
TIKPAT DAUDZ ENERĢIJAS
KĀ 10 000 TONNU OGĻU.**

„TEMPERATŪRA Z-MAŠĪNĀ SASNIEDZ 2 000 000 000 °C.

► amortizoriem, kuru uzdevums ir nodrošināt to, lai iekārta varētu pārdzīvot zemestrīci. Viss milzīgais komplekss svērs 360 000 tonnu jeb gandriz tikpat, cik Empire State Building debesskrāpis. Reaktora ēka sniegsies 60 metru augstumā.

Reaktors atrodas saldētavā

ITER reaktora kamera pēc formas atgādina gigantisku automašīnas riepu, un tai apkārt ir magnētiskās spoles. Lielākā no tām ir 25 metrus gara un sver 400 tonnu. Magnētiem piešķirta supravadītspēja, tāpēc elektrība, tiks līdz tā sāk rasties, plūst pa spolēm bez pretestības. Tas samazina elektrības patēriņu un nodrošina ļoti spēcīgu un stabili magnētisko lauku, kas ilgu laiku var noturēt kodolsintēzes degvielu kā iesprostotu būri.

Lai iegūtu supravadītspēju, magnēti ar šķidru hēliju jāatdzesē līdz mīnus 269 grādiem, tāpēc reaktors ir iebūvēts milzīgā saldētavā. Turpreti kodolsintēzes degviela jāuzkarsē līdz 150 miljoniem grādu. Tāpēc ITER magnēti, kas būs vieni no aukstākajiem objektiem uz Zemes, atradīsies dažu metru atstatumā no pasaules karstākās degvielas.

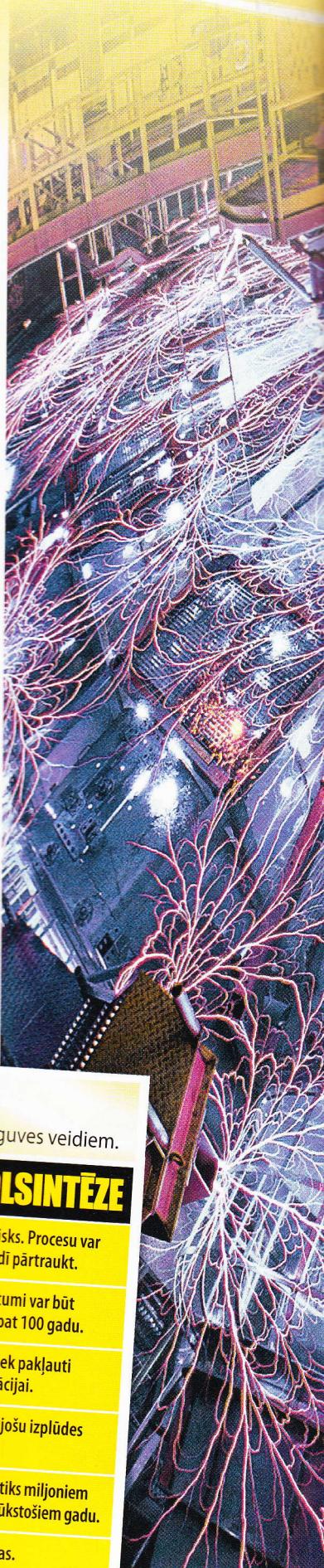
Kodolsintēzes degvielu var noturēt magnētiskā sprosta iekšpusē, jo tā atrodas īpašā agregātstāvoklī, kuru dēvē par

plazmu. Te pozitīvi uzlādētie ūdeņraža kodoli ir atšķirti no negatīvi lādētajiem elektroniem, tāpēc plazma ir elektriski lādēta un to var noturēt magnētiskā lauka ielenkumā.

Lai panāktu ārkārtīgi augsto temperatūru, reaktora kamerā ievada jaudīgus mikrovīlnus un vienlaikus degvielā “iesauj” ļoti karstus ūdeņraža atomus.

Kad sīkie ūdeņraža atomi saplūst kopā, veidojot prāvākus hēlija atomus, rodas enerģija, un tieši šī enerģija ir visu kodolsintēzes pētījumu mērķis. Ar šo enerģiju var uzkarsēt šķidrumu reaktora sieniņās iestrādātā cauruļu sistēmā. Siltummainīnis var pārnest siltumu uz ūdeni, kurš, ja panāk tā vārišanos, var darbināt turbīnu – tāpat kā parastā termospēkstacijā vai atomspēkstacijā.

ITER nepiegādās elektrību patērtājiem; to izmanto, lai gūtu pieredzi nākamajam lielajam projektam – DEMO spēkstacijai, kura saskaņā ar plānu ražos elektrību 2050. gadā. Līdz tam laikam enerģijas patēriņš pasaule būs aptuveni divreiz lielāks nekā pašlaik. Tāpēc ir akūta nepieciešamība pēc jauniem, klimatam saudzīgiem enerģijas avotiem. Nozīmīgu piemesumu te varēs sniegt arī kodolsintēzes spēkstacijas, izmantojot läzerus vai supravadītājus magnētus. □

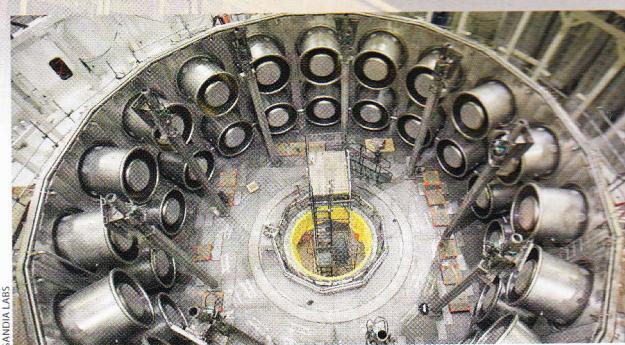


Kodolsintēze pārspēs ogļu un atomu spēkstacijas

Kodolsintēzes spēkstacijām būs daudz priekšrocību salīdzinājumā ar mūsdienu enerģijas ieguves veidiem.

	OGLES	ATOMENERĢIJA	KODOLSINTĒZE
DROŠIBA	Zems avāriju risks. Sekas tikai vietējā apkārtnē.	Āoti zems avāriju risks, bet sekas var būt katastrofāls.	Āoti zems risks. Procesu var jebkurā brīdi pārtraukt.
RADIOAKTĪVIE ATKRITUMI	Radioaktīvie sodrēji, kurus var savākt spēkstacijā.	Izletotie degvielas stieņi ir radioaktīvi, jāuzglabā drošā vietā.	Būves atkritumi var būt radioaktīvi pat 100 gadu.
DARBA VIDE	Raktuvēs ir bīstamākas nekā spēkstacijas.	Darbinieki tiek pakļauti nelielai radiācijai.	Darbinieki tiek pakļauti nelielai radiācijai.
PIESĀRŅOJUMS	Liels daudzums siltuminācas gāzu, kas var ieteikt klimatu.	Nav piesārņojošu izplūdes gāzu.	Nav piesārņojošu izplūdes gāzu.
DEGVIELAS REZERVES	Ar zināmajām ogļu rezervēm pietiks aptuveni 150 gadiem.	Ar urānu pietiks patēriņam vairākiem gadsimtiem.	Ūdeņradis pietiks miljoniem gadu; litijus – tūkstošiem gadu.
RAŽOŠANAS IZMAKSAS	Zemas.	Zemas.	Vēl nav zināmas.

- Elektrība sakausē kodolsintēzes degvielu
- Reaktors sadedzina kodolatkritumus
- Ūdeņraža lodes satriecas



Z-mašīna ir visjaudīgākais rentgena starojuma ģeneratorš pasaulē. Galvenā reaktora kameru diametrs ir 34 metri.

KODOLFIZIKI PĀRBAUDA VISAS IESPĒJAS

Teorētiski kodolsintēzes enerģija ir vienkārša, tomēr tās iegūšana ir ļoti sarežģīta, tāpēc fizikā strādā arī ar vairākām citām metodēm. Tā dēvētajā Z-Mašīnā (Z-Machine) ūdeņraža atomus sakausēs ar elektrību. Tekساس universitātē zinātnieki pēta, vai kodolsintēzes reaktorā par degvielu var izmantot kodolatkritumus, bet uzņēmums "Helion Energy" liks ūdeņraža atomiem ļoti lielā ātrumā sadurties paātrinātājā.

Enerģijas izlāde Z-Mašīnā ir tik jaudīga, ka rada zibenus ap metaliskajām daļām, kas atrodas reaktora kamerā.

SANDIA NATIONAL LABS