

Radar imaging of the lunar poles

Long-wavelength measurements reveal a paucity of ice in the Moon's polar craters.

WHICHXVHG DUDGR VDMERS HDW \$ UFFIER 2 EVHYDARU 3 XHJW 5 IFR WKP DS IHDXUHVRI VHXOQJUS RÖV VRP HDWP DÖMP HAHMFURVEA FRÖFWQJ ÖQJ Z DYHÖJ VÄ UGDU IP DJ HV WIDWFQJSHQHMVMHHLÖP HAHVRI ÖQDU GXW HIQGWLDVUHARI VHFUMLÖRRUV DWFHS RÖVWLDVUHQS HLP DÖHÖWKDGRZ IURP VHXÖXQZ KIFKDUHS RWMÖDRÖMVS V IRLZ DÄMRLURVHXHYRÖMÖVGRÖRÖWYHJH VÄWÄRQJ UGDUHFKRHÖNHWKRVHÄRFIDMG Z DVKVFIFNIFHGH S RVMVQWHS RÖLFUDMLV RQÖ HFXU \$ Q ÖXQUIFHS UHFÖMÖZ DVKIQ UH IROVYIMEÖHVK VHS UFFIER UGDU P XW VHLHRUHEHIQ VWHIRUP RI GVMEXWVG J UÖQRUMIQÖD HUV

\$ UHVRI VHXOQJUS RÖDUH IROVDHIQ SHLP DÖHÖWKDGRZ Z DVK UHS HFVÄ 6 RÖU IQÖP IQÖMRQ 7 KH S UHFÖFHRI VJ QUIFDQW TXDÖMÄHRI Z DÄMIFHÖWVHHLH IROKDV EHFQIHUHGURP EIDWÄFUDGÖDMURP VHXÖP HÖMÖP DVIRQ DÖGURP ÖFKVÄRQ VSHFWRP HÄMUP HDXUP HÖWP DGHEA VHX / XQJUB URV HFVÄU 5 DGLUS UREIQ FÖQEH XVHGÄWÄG VHS KI VIFÖDMEXVÄRQRI IFH GH S RVMVZ KHIFHÖD HVDUHWKIFNÄKIQ VHYLDÖMP HÄVHXIQÖP IQÖMÖJ Z DYHÖJ VÄ DÖGDUHFKDUHFVÄU HGEA GHÖMÄV IÖKRP R J HÖHMHV IQMÖQÖFUDFN RU VÄVHÖGFG URFN D SKHÖRP HÖRQ FÖÖG FRKHÖW EIDNFÄWU FÖQ SURGXFH VÄRQJ UGDU UHXÖQDÖGÖGIVÄQFVÄHS RÖDUJ DÄRÖM ÖD VÄU 7 KIVWS HRI HÖR DÄZ DYHÖJ VÄVRI FP DREVHYHÖRUP DQJ SHLP DÖHÖW ÖVKDGRZ HGFUMLÖRRUV ÖHÖERVS RÖVRI Ö HFXU DÖGKDVHÖQIQMVS UHMGDMÖQL FDMÖJ VHS UHFÖFHRI VÄFNIFHÖD HUV

(DUKEDÄG UGDU P HDXUP HÖW FRO ÖFWGS UHTRXV DÄZ DYHÖJ VÄVRI FP UH DÖGFP UH GIGÖRVHÖD VÄRQJ EIDNFÄWURUKHGVMÖQFVÄHS RÖU J DÄRÖVJ ÖDÄUHRI IFHURP ÖQJUS RÖU VÄLDIQ IQ SHLP DÖHÖWKDGRZ Z DVK VHX H FHS VÄRQRI YHU XJ J HGFUDMLHVFVÖDÖG VRP HDGDUJFIQ FUDMZ DÖV J VHXHLDÖHU UGDUREVHYDÄRÖMÖGIGÖRVHÖHÖHÖXÖU UH RÖMÖVXIIIIFHÖMÖGHS VÄ KRZ HHYVKHHL FRXÖVÄKÖEHKIFNIFHÖD HVMÖVRI FHÖW P HAHVEHÖZ VHXÄUJFH2 XUUGLUP HD VÄUP HÖW VÄNHÖDÄZ DYHÖJ VÄVRI FP FÖQJ HÖHÖMVMHHLÖP HAHVRI ÖQJÖG XW : HXVGHÖP H J LKHVJUGDU VÄP DÄUHTIER ÖVHYDÄRU WÖFTXIHÖGÖYIGXÖD GHÖD' RSS ÖLÖRNVZ DVKÄXUIFHAS DÄDÖ UHFÖXVÄRQRI DERXWP \$ FIFXÖLÖ S RÖDUJ HGVJ ÖQÖZ DVWÖQÄP DÄMG DÖG ZH UHFHYHGVKHS S RVMVHÖVHÖFÖXÖUHXUQ 7 KHLDÖLÖRNVZ HFFRÖYHÄMÖGÄHÖBÖR J UDS KIF FRRUGIQDMIRUP DÄQRUP DÖJ HGVÄ VHLHUÖMÄYHÖRVDHÖYHY DÖG VÄP P HGVÄ IRLP DHIQÖD DS / XQJÖE DÄMÄRQFÖGÄRQV

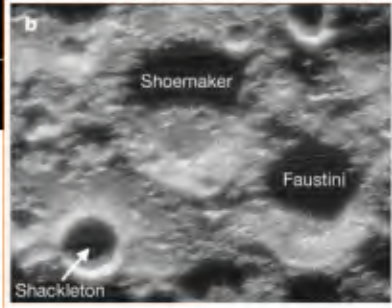
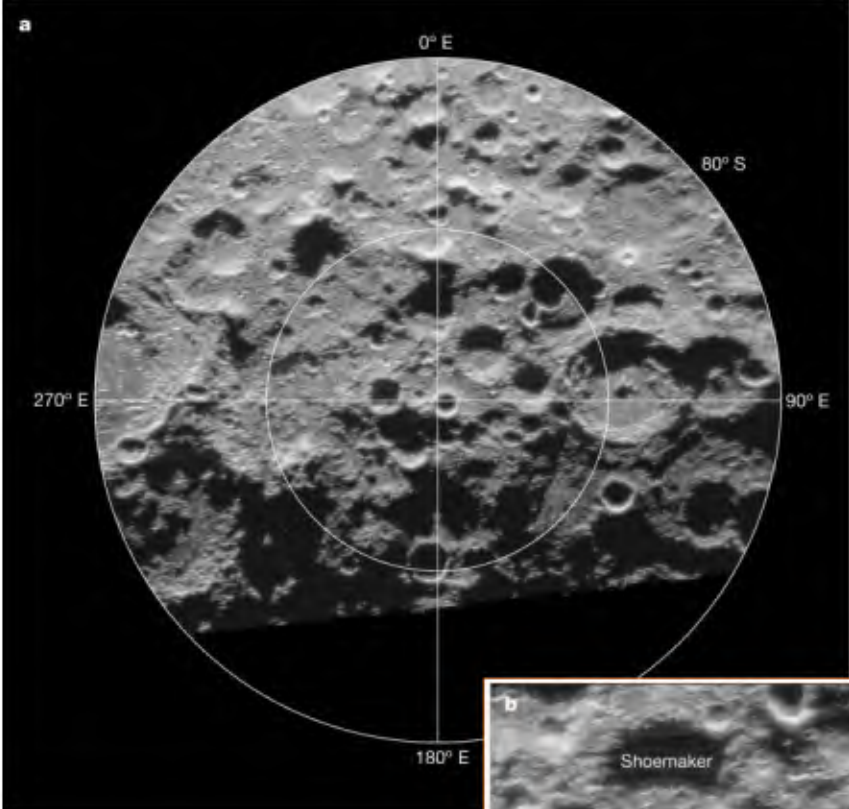


Figure 1 Radar images of the lunar south pole collected by the Arecibo radio telescope at a wavelength of 70 cm. **a**, Stereographic projection centred on the pole; the lunar nearside is towards the top. **b**, Enlargement of the radar map, showing three craters identified as polar cold traps. Image width represents about 130 km. The western rim of Shackleton crater is located at the south pole (see **a**).

SHLP DÄMÖYHÖZ IQ ÖQJ ÖHURP VÄKRUJ RQ RI DERXW° IRLVHÖRÖMVS RÖDÖGDERXW ° IRL VÄHÄXWS RÖJ J D7 KHÖP ERI VHXÖXQ GRHÖRÖWÄP RUHÖKÖ ° DERYHÄKRL J RQDVÄKHÖXÖLUS RÖV VÄVHLÖDÖLUP DJ HV VÄRZ GHMÖQJH IROKDMÖHS HLP DÖHÖW VÄKGRZ HG 7 KHFRGHGUDGUMJ ÖQÖXVGVÄ REVÄQVÄHHP DS VFLXVHVDHÖVZ DVK KIJ K UHXUQ VÄFKDMÖGDUJFIQ FUDMZ DÖV VÄ EÖUDÖRQ VÄHGÖD DJ DÄRXJ KÖS DUDÖÖK VÄH HURÖQJ DVXGÄDHIQ J D: HÄKHHL IRLHFRXVÄGRXUWÄG RQFUDMÖRÖRUVZ HÖ DZ DÄ IURP VÄHÖGDUUJ KÄDÖV 1 HÄMÖXÖQÖRÖMVS RÖMÄHLDÖLÖX P IQÖMÄV DÄH VRI SHLP DÖHÖWKDGRZ IQ D FUDMÖRÖVÄH ° 1 ° (VÄHÖRÖRI + HU P DÄFUDMÖDÖGFMHHLÖP DÖFUDMÖZ DVKIQ VHXÖU HS RÖLFUDMÖB HÖU 1 RÖFHRI VÄHH DÄHÄHP VÄHEGIIIHÖMÖQÖDÖV DÄMÄU IQÖ EHÖDÄRÖXUURP WS IFÖÖXÖQJ KIJ KÖÖG VÄLDIQ 1 HÄMÄHÄXWS RÖV VÄHÖRÖRUVRI FUDMÖGKRHP DÄHÖG DÄWÄQZ KIFKDUHÖ SHLP DÖHÖWKDGRZ DÄS DÄWÄRÖDÖP IQÖMÖG

EÄ VÄHLDÖU J E 1 HÄKHHL IROJ DÄV UHÄXÖXVÄDÖVÄRQJ UGDUHFKRH / XQJUB URV HFVÄUGDÄ VÄJ J HÄWÖKIJ K DEXQÖDÖFHRI KÄ GURJ HÖ IRLUDVÖDGRZ HG XJ J HÖMÖFUDMÖD HÖHÖHU ° 6 ° (EXV DJ DÖVHLDÖLHFKRHMLHMP IQÖMÄKRVH RI RÄKHUJ KÖDÖGÄXUHV 7 KHLDÖLÖQJ IQÖMÄRÖZ DÖRI 6 KLFNÖMÖQ VRP HS DÄVRI Z KIFKDUHÖKÖDGRZ KDMÖUJ KÄMÖGDUJ ÖDÄUH 7 KHÖRÖRI 6 KLFNÖMÖQV RVMÖMÖH VÄKHLDÖU 7 KHÖUJ KÄWJ ÖDÄUHFÄRÖLÄSH IURP VÄFNIFHÖD HUV EXWMP IQÖD KIJ K UHXÖQJHREVHYHÖGURP FUDMZ DÖMÖKDV GRÖVHÖGHS HLP DÖHÖW RÖV VÄKGRZ 7 KHÖVHÖFHRI VÄRQJ FP EIDNFÄWU IURP SHLP DÖHÖW VÄKGRZ HGFUDMÖLÖRRUV FRXS ÖGZ DVÄVP IQÖUHXÖMÖZ DYHÖJ VÄVRI FP DÖGFP S ÖFHVÄVÄRQJ FRQ WÄIQV RQVÄHÖQDÄUHRI S XWÄYH Z DÄMIFH Z DVKIQVÄHÖXÖQDUH RÖM 7 KIFNGHS RÄVRI IFHÄDÄHHS DÖÖRI FRKHÖW EIDNFÄWU Z KIFKDUHEHÖQV RNMÖMÄ S ÖIQÖÖP HÖ VÄQHEIÄWÄMÄF UGDUREVHYLDÄRÖMRI VÄH Z DÖ

RI 6KIFNDMRO DJFQVREHYHGZ DKOQVKH
 FUDMLICRUVYIMEONKVKHS UHTERV WMP
 \$ Q IFHQKHHUJ IROQ XVWEHQKHURP
 RI GYVHP IQDMGJ UIQMRUKIOFHOMP HMV
 RUOMV IQMUEHGCHG ODHV ZKIFK PRXOG
 VDMA VKH XQDU URV FVWUHXOVZ DWRXW
 WVRQ UGDELEFNEDMWFQKQDFP HCV
 7 KIV WSHRI IFHGHFRMVII S UHFHQW
 ZRXOEHFRONGHLEO GIIHFHQWURP VKH
 VKFNFRKHUQMDA HUREVHYHQKQKGRZ HG
 FUDMLVRQO HFXU 6XFKVSDXHIIOQJ
 RI VHXQULFRQWMS VUHDYHMKO HFXU
 FRXOULMVDHFXQV IORZ HUXHUJ HGHY
 HY UDMRI FRP HVAKWH RRQIRUXMXXV
 UHFQWRP HAP SDFWRQ HFXU RUP RUH
 USIGRVRRI IFRQKHXQDUXUUDFH
 %XHF# &DP SEHO RQOQ%&DP SEHO
 -RKQ) &KDOGOL-\$ OFH# + IQHU
 0 IFKIDK 1 ROQU3 KIOB- 3 HICOWU
 &HOMRUU DUKIQG OQWUW6WGHV
 6P DAKVQIQ QMVKWRO%QI
 : DAKIQ WQ & 8 6S
 IP DQDP SEHO# QAP VHX
 Q&RUCO QYHUV6SDH6HIOH%KIOQJ
 , VKED1 HZ<RUS 6S
 -6P DAKVQIQS WRSK VFDQ EVHLYARU
 &DP EUQJ HD DMDPKXVHW 6S
 US UHTER2 EVHLYARU + &APQI
 \$ UHTER3 XHUIS IFR

0 DJRW/ &DP SEHO %XQJHVS 1 6DQOQ \$
 6HQQH
 %QWV1 %-6SXCV3' 5 REIQARQO 6 * HRSKV5 H'
 /HW
 1 R)HVM6 HMO 6HQQH
 1 R)HVM6 HMO - * HRSKV5 H'
)HOP DQ: & HMO - * HRSKV5 H'
 %QFN* - &DP SEHO %1 IKROQR3'
 ,HXV
 + DP RQ- HMO 1 DMKH
 %QFN* - &DP SEHO % + DP RQ- /XQD3 OQWHL
 &RQ; ; ; , , DVMW
 6WPA 1 -6 &DP SEHO % RIG3* 6HQQH
 &RP SHUQ IIOQFIDQKMHAW GFODHQQRQI

Astrophysics

Refreshed shocks from a γ -ray burst

QDGGVROQV IWUP DUNEONVXSLORYD
 VJQDXUH VKH γ UD EXUWRI 0 DUK
 * 5%KDGWR IQMWHMIOJ
 SHXOULWVH DQXQVXDQZHQJ \ RXW
 SXVQ γ UD WQGDQJ HEXP SIQMDVMU
 J OZ OJ KWEXUYHIDVMU GD VIRORZ HG
 EA VHYLDOOAV VJ QMFLQWUEUJ KWOQJ
 HSDRGV: HXJ J HVMKDVHUFKHKGKRFNV
 VORZ VKHONHFMVGIURP VKHARUFHMKDW
 FDMKXS ZDKVKHIMUJ OZ VRFNDUHDMDHO
 OQV VP HVMKHKQWQOEXUWURGXFHG
 VKHREVHYHG OXVMDMROQMKHLOOIMU
 J OZ OJ KWEXUYHIDQGH S OIQMKBZHQJ \
 RXVXWMDLOVAP HV
 7 KH γ UDHP DMRQO* 5%AVKRXJ KWR
 DUBHURP IQMLOKRFNZ DKOQUDMAYWAP
 RXVWZ IUR DFR SDFWRXUFH KIFKRFEXU
 DGMH HONKHOZ DKOQKHXWOBZ FRQGH
 ZDKHFKRWKH) IJ S WJ UHMLGDWQFH
 5 IURP VKHARUFHMKH HFMVGHFH ODMMDV

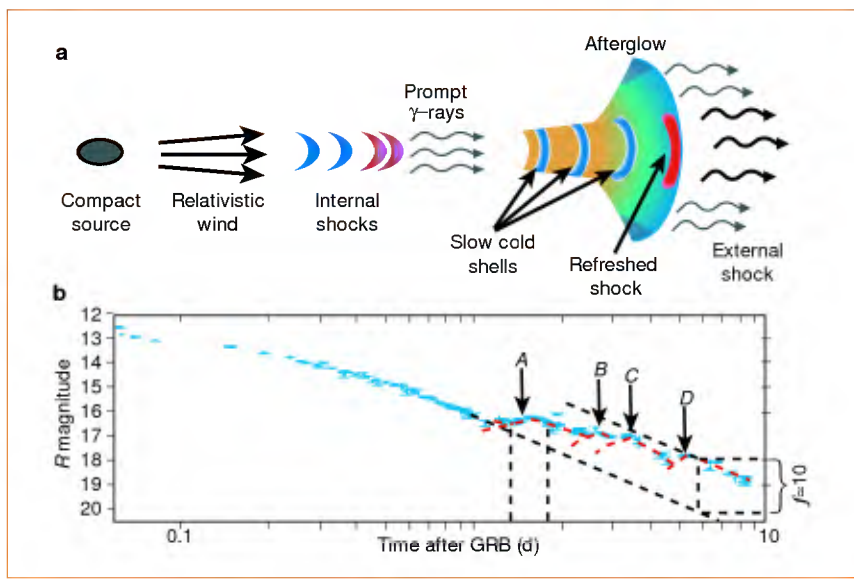


Figure 1 Refreshed shocks in γ -ray bursts. a, Illustration of a γ -ray burst: a compact source ejects a variable relativistic wind. Internal shocks within the outflow produce the γ -rays. At greater distances, the ejecta drives a strong shock into the surrounding medium, producing the afterglow. Slow shells ejected from the source catch up with the afterglow shock at late times, producing refreshed shocks; they thereby energize the afterglow and cause bumps in its light curve. b, Light curve of the GRB030329 burst (see <http://lanl.arxiv.org/abs/astro-ph/0304563> for refs) shows a large bump (A, red line) at $t=1.3$ – 1.7 d, followed by three less significant bumps (B–D, dashed red lines, at $t=2.4$ – 2.8 d, $t=3.1$ – 3.5 d and $t=4.9$ – 5.7 d, respectively).

GIYH/DVROJ VRFNIQWVKHXURXQGIQJ
 P HEXP S URGXFIQVFXVEXHXQWVMU OZ
 7 KH DFKURP DMF IQFUDXHI Q VMS QHV
 RI VKHS WFDQJ KWEXUYHRI * 5%
 IURP W α ZKHU WIVWVHP HP HXXUG
 IURP VKH EXUWZDK $\alpha = \alpha = \pm$
 DW $\frac{1}{2} \frac{1}{2} \pm$ GD V W
 $\alpha = \alpha = \pm DW \frac{1}{2} \frac{1}{2}$ UHFH EOB
 NVMUHDNVHIOQRVKHU* 5%/7 KHQIHLG
 RSHQIQDJ OHP S OHS URP SW γ UD HQJ \
 RXVXW γ DQJ UD OXP IQRVWDK / ;
 VKDMUHDVWURI URXJ KODQGUHS HF
 WYHO EHRZ VKHYHUJ HDOXHMURXQZ KIFK
 P RWV5 %XUHQIURZ OFOXWMLG
 \$ ZHO RQVWUGHEUJ KWOQJ Z DKOQ
 DP S OXGHI \approx DHYGQMW W \approx GD V
) IJ ZDKDGXUDRO D W \approx W \approx W \approx IVMKXK
 EXP S VKH VBS HUXUQVM $\alpha \approx \alpha$ 7 KUH
 DGGVROQO OAV VJ QMFLQWEXP SV ZDK
 VP IQWUHXUHFROZ
 \$ QJ XOUVP RRVKIQJ JHQHDO VJ J HW
 VKDWOJ KWEXUYH YLUDMROV VRRXO: KDXH
 D W \approx W \approx RZ HFKH H D W \approx W \approx W \approx IVMKXK
 YLUDMROQDQS DMK VKHONZ KIFKDYHEHQ
 SURSVHG WK H S OIQ RWKHUYLUDOIMUJ
 J OZ VGRQRWRUNKLUH KHIRP HUHFXUH
 DQXQUDMWH WLOQOQHMV WOHDMUOQV
 EHFDXVHQ* 5% VKEHP SVRPFEXU
 IVMUJ KIQKHKQMHMAYMEOH
 5 HUFKHKGKRFNV IJ DVMZ KHOMZ
 VKHOFDMKXS ZDKVKHIMUJ OZ VRFNDW
 OAMAP HV (DFKROMRQDIXVHDFEUJ KW
 HQIQ IQMWHIMUJ OZ OJ KWEXUYHS IVMKXK
 UFEUJ KWOQJ VKHIMUJ OZ UHXP HV IW
 RUJ IQOQGHFD VRS H7 KHMVS ZDKKHS HRI
 VKHJ KWEXUYHRI* 5% ZKHUWKH
 VP HORS H α DQJ DQGHJVMHFKEXP S IV
 DPOUYJ QDXURI UHUFKHKGKRFNV

7 KHROROMRODRIQMFVWUJ \ IQMVKH
 DVMU OZ VRFNS QHQUJ \ IQFUDMRI IDFWU
 f IQFUDHMKHOKI QRUP DQJ DMRCQI DDFWU
 $I = f^{+5}$ IRU $v_p < v < v_f$ DQ $I = f^{+5}$ IRU
 $v > v_p$ v_p ZKHU S IVMKHOFVWROZ HMOZ
 IQGH DQ v_p v_p IVMKHFRRQJ WSIFDO
 IUHXFQA) RU 5% $S \approx DQ v_f W$
 DUXXQGMKHS WFDQ VR f IXRXJ KODQDUQ
 I7 KHRVHYHG $I \approx$) IJ IP SOHV $f \approx$
 ZKIFKEUQJ VKHARWQOQUJ \ FQVHW VKH
 DYHUJ HDOXHMURXQ 5%
 7 KHRIJ IQOQUHMKHGKRFNV VHQUR
 SUHGIFW D W \approx W \approx RZ HHYUWKVDVXP HAKDW
 UHUFKHKGKRFNV RFXLEHURH W \approx KHFDQ
 * 5% VKHWRNS OPHDMU W \approx VKHDMU
 VHOOP RYHOKH ZDRI VKHRUZ DQKRFN
 VHUUP DQRODQGRQV S DQMGHZ DV
 , I DOKVHKOKDYKHP HQWODORS HQ
 IQDJ OI θ MKHGXUDMROQI VKHFEUJ KWOQJ
 HFMVZ KQH D W \approx 5 θ_M $F = W^5$ $5_M = W^5 M^5$
 ZKHHE = $E \approx$ II VKHDMUHS UHQOQRI
 VKHIMUJ OI OEDMCHDFLDRXQGS HG
 7 KIXORZ V D W \approx W \approx 5 γ S ORVKEZ IGMRI
 VKHFDVXKH OXVWHP DQWIKO FAW
 1 XP HFDQ VP XOMROV VJ J HWUDKHU
 P RGHVDMUHS UHQOQ IP SOIQ $E \approx$
 7 KIVFRQVMWQVWK D W \approx W \approx RUKHILWVXP S
 DQZDK D W \approx W \approx W \approx RUKHDMEXP SV KH
 HQJ \ IQFUDHIMUJ HFK UHUFKHKGKRFN
 FDXVHP RUFHS IFRONHIXHQMFUDVHQ 5
 VKHRYHLOOHVWRZ HYLUDDFWU \leq 7 KH
 WP IQ RI VKHILWEXP S VJ J HVMY RUFQV
 IDFWURI DERXVUKHQRZ HVKHQ
 5 HUFKHKGKRFNVFDQ H S OIQERAK VKH
 YLUDOIMV DQGVKHORP DQXOZ YDXY
 IQHULGIRU (γ DQG/ ; GILFVUHFQVROQRI
 VKUQWMS UHDMROQDKDKHUFZ KQHUJ QI
 IFOQWDEG IQDUHVKDFRULHS RQGV VKH